



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

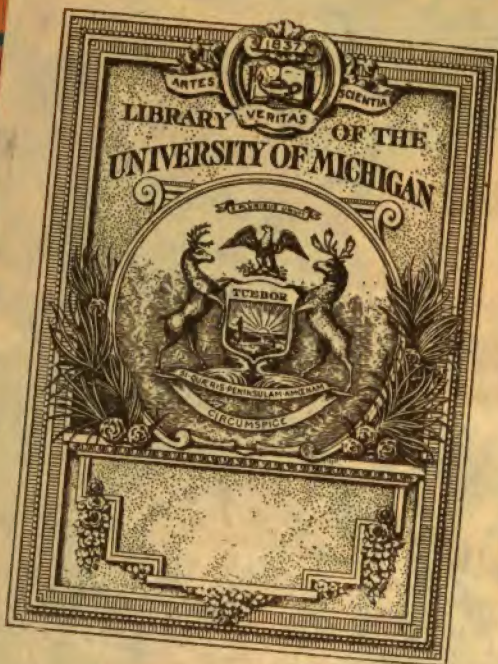
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

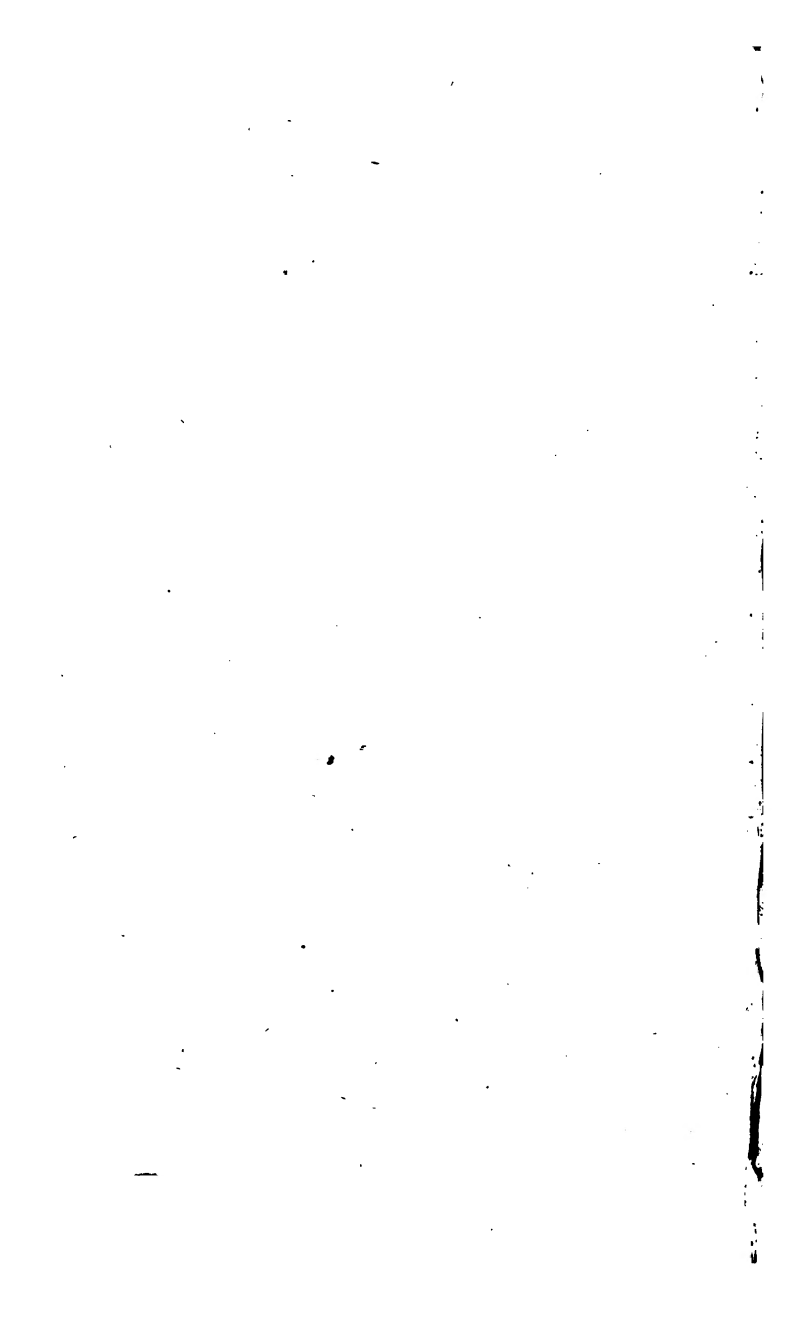
Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>



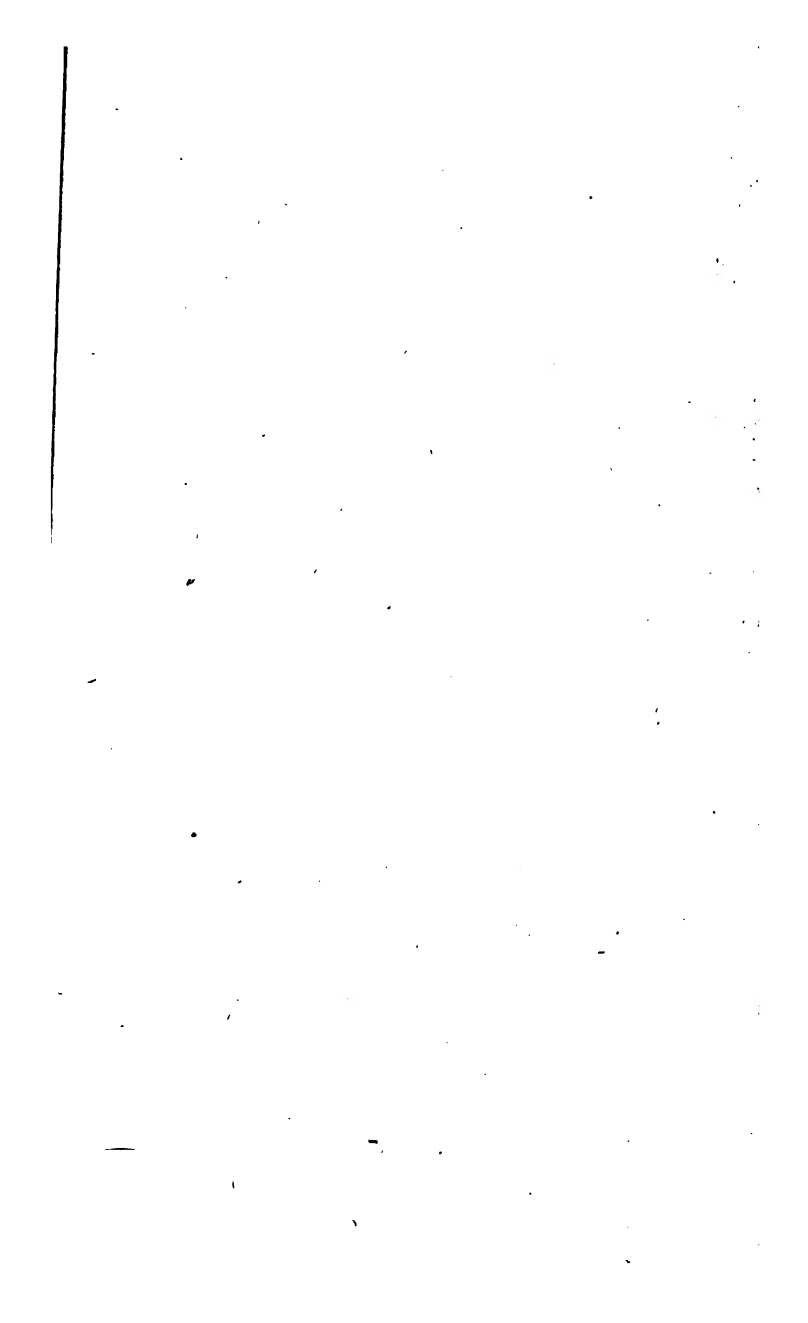


QC

19

, N79

176



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE

Jean Antoine

Par M. l'Abbé NOLLET, de l'Académie Royale
des Sciences, de la Société Royale de Londres,
de l'Institut de Bologne, &c. Maître de Physique
& d'Histoire Naturelle des Enfants de France, &
Professeur Royal de Physique Expérimentale au
Collège de Navarre, & aux Ecoles du Génie &
de l'Artillerie.

TOME TROISIEME.
CINQUIEME ÉDITION.



A P A R I S,
Chez LOUIS-FRANÇOIS DELATOUR;
rue S. Jacques, à S. Thomas d'Aquin.

M. DCC. LXVI.

Avec Approbation & Privilège du Roi.

STATION 3

NOV 18 1914

STATION 3

STATION 3

STATION 3

STATION 3

STATION 3

STATION 3

STATION 3

AVIS AU RELIEUR.

Les Planches doivent être placées de manière qu'en s'ouvrant elles puissent sortir entièrement du livre, & se voir à droite, dans l'ordre qui suit.

TOME TROISIEME.

	Pages.	Planches
IX. LEÇON.	24.....	1.
	42.....	2.
	68.....	3.
	86.....	4.
	98.....	5.
	106.....	6.
	124.....	7.
	136.....	8.
	170.....	9.
X. LEÇON.	192.....	1.
	216.....	2.
	234.....	3.
	254.....	4.
	288.....	5.
	336.....	6.
XI. LEÇON.	414.....	1.
	440.....	2.
	472.....	3.
	504.....	4.

17

EXTRAIT DES REGISTRES
de l'Académie Royale des Sciences.

Du 6 Mars 1745.

Monsieur DE REAUMUR & moi, qui avons été nommés pour examiner le troisieme Volume des Leçons de Physique Expérimentale de M. l'Abbé NOLLET, en ayant fait notre rapport, l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impression : en foi de quoi j'ai signé le présent Certificat. A Paris, ce 6 Mars 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY,
Secrétaire perpétuel de l'Académie Royale
des Sciences.

LEÇONS



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

A PRES avoir enseigné , dans les Leçons précédentes, les propriétés & les loix du mouvement, tant pour les corps solides , que pour les fluides , il nous reste à parler dans celle-ci des moyens par lesquels on peut l'employer , ou plus commodément , ou avec plus d'avantage. Ces moyens sont les *Machines* , c'est-à-dire , certains corps ou assemblages d'une construction plus ou moins simple , qui

Tome III. A

IX.
LEÇON.

2 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. transmettent l'action d'une puissance
LEÇON. sur une résistance , & qui la font croître ou diminuer en variant les vitesses.

La science qui traite des machines s'appelle *Mécanique* ; elle suppose , dans celui qui s'y applique , des connoissances suffisantes de Mathématiques & de Physique : car un Mécanicien doit non-seulement estimer & mesurer des forces opposées entr'elles relativement à leurs positions respectives & à leurs directions ; mais il faut encore qu'il sçache distinguer qu'elle est la nature de ces forces , ce qui peut s'y mêler d'étranger , par la qualité des matieres qu'on emploie , par la constance du lieu , du tems , &c. Celui qui ne posséderoit que la partie physique , pourroit faire des machines durables , & bien assorties , quant à l'assemblage des pièces & à leur maniere de se mouvoir ; mais il courroit risque de se tromper souvent dans les proportions , & les effets se trouveroient rarement tels qu'il les auroit attendus. Celui qui n'auroit que des connoissances purement mathématiques , & qui ne considéreroit que des lignes & des points dans les quantités dont

il voudroit faire usage, trouveroit sans doute beaucoup de déchet après l'exécution. Enfin celui qui ne seroit ni Géomètre, ni Physicien, travailleroit absolument en aveugle, & ne pourroit se flatter de réussir que par un pur hazard, souvent après bien des tentatives inutiles, pénibles & presque toujours dispendieuses. C'est une vérité que l'expérience prouve depuis long-tems, & qui devoit corriger bien des gens dont le travail est infructueux; mais de même que l'amour-propre, & l'envie d'être Auteur, fait imprimer quantité de mauvais Ouvrages, malgré la critique; les mêmes motifs, & souvent l'appas du gain, font faire aussi les frais d'un nombre prodigieux d'inventions qui ne verroient pas le jour, si ceux qui les imaginent en sçavoient assez pour en bien juger.

Les mauvaises machines naissent plus fréquemment que les bonnes; & c'est ce qui décrédite un peu la Méchanique dans l'esprit de plusieurs personnes qui confondent injustement le Machiniste avec le vrai Méchanicien: on revient aisément de

4 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

cette idée , quand on fait attention que des Sçavans du premier ordre , Archytas , Aristote , Archimédes , &c. parmi les Anciens ; MM. Mariotte , Amontons , de la Hire , Varignon , &c. parmi les modernes , se sont appliqués particulièrement à la science des machines utiles , & se sont rendus recommandables par les progrès qu'ils y ont faits. Les découvertes de ce genre font autant d'honneur , & ne méritent pas moins d'applaudissemens que celles de toute autre espèce : l'objet de cette science n'est-il pas très-utile en lui-même ? & la société n'en retire-t-elle pas des avantages considérables ? Jugeons de ce que nous en pouvons attendre par les productions dont nous jouissons actuellement : les moulins qui nous préparent la farine , ceux qui foulent nos étoffes , ou qui nous tirent l'huile des végétaux , les différentes pompes qui élèvent l'eau pour nos usages & pour la décoration de nos jardins , les voitures qui nous épargnent tant de fatigues , & qui rendent les transports si faciles & si commodes ; les poulies , les grues , les cabestans

E X P É R I M E N T A L E.

5

dont l'application est si avantageuse & si fréquente dans l'architecture & dans la navigation : les ponts-levis , & quantité d'autres moyens dont on se sert pour défendre les places , ne sont-ils pas autant de machines dont nous sentons tous les jours l'utilité , & qui deviennent même nécessaires selon les circonstances ? On doit assurément sçavoir bon gré à ceux qui veulent bien se refuser aux attraits séduisans de la haute Géométrie , pour se donner le loisir d'en appliquer les principes à des recherches de cette nature : elles sont moins brillantes , que la solution des grands problèmes ; mais elles ne m'en paroissent pas moins estimables , parce qu'elles tendent plus directement au bien de la société , & qu'elles ont , pour l'ordinaire , des applications plus promptement , & quelquefois plus généralement utiles.

I X.
L E Ç O N.

On distingue communément deux sortes de machines ; celles qui sont *simples* , & celles qui sont *composées* : les premières sont comme les élémens des autres , & ce sont elles qui vont faire principalement le sujet de

6 LEÇONS DE PHYSIQUE

--- --- IX. LEÇON.

cette Leçon ; car la multiplication & l'assemblage des machines simples dans un même tout , n'apporte aucun changement essentiel à leurs propriétés , & nous ne devons pas entreprendre de faire une énumération complète de toutes les machines composées qui ont été mises au jour pour faire connoître toutes les applications qu'on y a faites de celles qui sont simples. Nous nous contenterons d'indiquer celles qui sont le plus en usage , dont la construction pourra s'entendre plus facilement , & qui n'auront pas besoin de ces descriptions longues & détaillées qui ne peuvent avoir place dans cet Ouvrage.

Le nombre des machines simples varie selon la manière d'estimer leur simplicité ; les uns regardant comme simple ce que d'autres considèrent comme étant déjà composé , c'est une chose assez arbitraire & peu importante : pour moi sans désapprouver les opinions qui diffèrent de la mienne à cet égard , je ne compte que trois sortes de machines simples ; savoir , le *Levier* , le *Plan incliné* , & les *Cordes*. Mais avant que d'entrer

en matière, il est à propos d'établir quelques notions générales, qui rendront notre théorie plus facile à saisir, & de prévenir aussi quelques difficultés qui pourroient naître dans le cours de nos explications.

Dans une machine, il y a quatre choses principales à considérer ; la puissance, la résistance, le point d'appui ou centre de mouvement, & la vitesse avec laquelle on fait mouvoir la puissance & la résistance.

On appelle *puissance* une force quelconque, ou plusieurs ensemble, qui concourent à vaincre un obstacle, ou à soutenir son effort ; ainsi les hommes ou le cheval qui remontent un bateau contre le courant de la rivière, le poids d'un tourne-broche, ceux d'une horloge ou d'une pendule, doivent être regardés comme la puissance ou force motrice.

Quand la puissance qu'on employe dans une machine est l'effort d'un animal, on doit l'estimer relativement à la nature & à la durée du travail. Car quoiqu'un cheval puisse vaincre pour un tems fort court une force de 500 ou 600 livres, & qu'un homme

8 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

soutienne pendant quelques instants un fardeau de 100 ou 150 livres , quand il s'agit de travailler de suite , on ne doit pas compter sur un effort qui excède 25 ou 30 livres de la part d'un homme , & environ 180 livres de la part d'un cheval ; encore faut-il qu'ils agissent avec liberté , & qu'ils ne soient pas gênés , soit par la disposition de la machine à laquelle on les applique , soit par la situation du terrain , ou autrement.

Si la puissance est un poids ou un ressort , il peut arriver qu'elle ne soit pas d'une valeur constante : car , 1°. à mesure qu'un ressort se déploie , son effort diminue . & si la machine n'est point faite d'une manière qui supplée à cette diminution , les efforts ne peuvent pas être aussi grands à la fin qu'au commencement. 2°. Nous avons fait voir , en parlant de la pesanteur, que l'accélération augmente la force des corps qui tombent librement , c'est-à-dire , avec une vitesse très - sensible ; ainsi dans tous les cas où le mouvement est imprimé par le choc d'un corps qui tombe , la machine en reçoit d'autant plus que

le moteur descend de plus haut.

La *résistance* est une autre force ou la somme de plusieurs obstacles qui s'opposent au mouvement de la machine que la puissance anime ou fait mouvoir ; tel est un bloc de pierre ou de marbre qui résiste par son poids à l'action des hommes qui font effort pour le traîner ou pour l'enlever , par le moyen d'un treuil , d'un cabestan , d'une grue , &c.

IX.
LEÇON.

La résistance n'est pas toujours une quantité constante comme un poids qu'on veut enlever ; souvent ce sont des ressorts à tendre , des corps à diviser , des fluides à soutenir ; & en pareils cas , la puissance a plus ou moins à faire au commencement de son action qu'à la fin. Pour n'être point pris en défaut , on doit proportionner la machine de façon , que la résistance , étant la plus grande qu'elle puisse être , se trouve encore inférieure à la force motrice. Ainsi lorsqu'il s'agit , par exemple , de faire monter l'eau par le moyen d'une pompe , on doit considérer le tuyau montant comme étant toujours plein , quoiqu'il ne le soit véritablement

10 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

qu'après un certain nombre de coups de pistons , pendant lesquels la force motrice est plus que suffisante.

On appelle *Point d'appui* , *Centre de mouvement* , ou *Hypomochlion* , cette partie d'une machine , autour de laquelle les autres se meuvent ; c'est dans une balance , l'endroit de la chaise sur lequel repose l'axe du fléau ; c'est dans une roue de carrosse , l'extrémité du rayon qui touche actuellement le terrain , lorsqu'elle roule : c'est la penture d'une porte , l'axe d'une poulie , &c.

Le centre du mouvement n'est pas toujours un seul point fixe ; dans bien des occasions , c'est une suite de points qui forment une ligne ; tel est l'axe d'une sphère , telles sont les charnières , & tout ce qui en fait l'office.

Le point d'appui , bien souvent , n'est fixe que relativement à la révolution dont il est le centre : il peut être mobile d'ailleurs ; tel est , par exemple , l'essieu d'une charrette qui est emporté dans une direction parallèle au terrain , pendant qu'il est le centre du mouvement des roues ; quelquefois même c'est l'action d'un

corps animé qui sert d'appui , comme lorsque deux hommes portent ensemble quelque fardeau sur un bâton dont ils soutiennent chacun un bout ; l'un des deux , indifféremment , peut être regardé ou comme puissance , ou comme point d'appui.

Les vitesses se mesurent par les espaces que parcourent la puissance & la résistance , ou qu'elles parcourroient , eu égard à la disposition de la machine , si l'une emportoit l'autre. Un homme , par exemple , qui tire un fardeau par le moyen d'un cabestan , décrit , en marchant , la circonférence d'un cercle ; & pendant qu'il parcourt ce chemin , le fardeau s'approche d'une certaine quantité : ce sont ces espaces parcourus de part & d'autre qui déterminent les vitesses respectives ; car le tems est égal pour l'un & pour l'autre. De même quand les deux bassins d'une balance sont en repos par cause d'équilibre , on connoît leurs vitesses , par le chemin qu'ils feroient en même-tems , l'un en montant , l'autre en descendant , si le mouvement avoit lieu.

La pesanteur est une force qui

12 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON. s'employe souvent en mécanique comme puissance ou comme résistance : quoiqu'elle appartienne également à toutes les parties de matière renfermées sous un même volume pour plus de simplicité, nous la considérerons comme résidente en un seul point, que nous nommerons, *Centre de gravité*.

Ce centre de gravité, ou de pesanteur, n'est pas toujours celui de la figure ; c'est un point par lequel un corps étant suspendu, toutes ces autres parties demeurent en repos, & avec lequel elles se meuvent toutes lorsqu'il cesse d'être appuyé. De là il est aisé de comprendre que ce point ne se trouve justement au milieu que dans les corps dont les parties sont homogènes, & la figure symétrisée. Dans une boule bien ronde, par exemple & d'une densité bien uniforme, il est évident que tous les rayons, ou demi-diamètres, sont égaux & de même poids ; égaux, à cause de la figure parfaitement sphérique ; de même poids, à cause de l'homogénéité de parties : tout est donc en équilibre autour d'un point qui est en même

tems centre de gravité & de figure. Il n'en est pas de même d'une flèche dont le bout est ferré, ou d'une plume à écrire ; si l'on partage sa longueur en deux parties égales, l'une se trouvera plus pesante que l'autre, & la section n'aura point passé par le centre de sa pesanteur, quoiqu'elle se soit faite à celui de sa figure.

IX.
LEÇON.

De la même manière que l'on conçoit toute la pesanteur d'un corps réunie dans un seul point, on considère pareillement, dans un espace infiniment petit, celle de plusieurs corps qui concourent à une même action par leurs poids. Quand plusieurs masses présentent sur une même corde par des fils qui les y attachent, on peut regarder le nœud commun de ces fils comme le centre des pesanteurs particulières. *A, B, Figure 1.* étant donc les centres de gravité des deux corps suspendus, leurs actions se réunissent en *C* ou dans tout autre point que l'on voudra choisir de la ligne *Cd*, pourvu que le poids *A* soit égal au poids *B*; car si l'une des deux boules étoit de bois, & l'autre de pierre, le centre de la plus pesante s'appro-

14 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

cheroit davantage de la ligne cd , & la ligne ab seroit partagée par la direction cd en deux parties inégales, dont la plus longue seroit à la plus courte, comme le plus grand poids au plus petit.

Quel que puisse être le nombre de ces corps pesans, si l'on connoît le centre de gravité de chacun d'eux, on détermine facilement l'endroit où se réunissent leurs forces, parce que les distances sont connues; mais ceci s'entendra mieux quand nous aurons expliqué la théorie du levier.

La pesanteur a une intensité différente lorsque les corps sont plus ou moins éloignés du centre de la terre où ils tendent; mais dans la suite de cette Leçon, nous n'aurons point égard à cette différence, parce qu'elle n'est jamais sensible dans l'étendue que peut avoir une machine; ainsi nous supposerons qu'un poids dont la chute n'est point accélérée, exerce toujours la même force ou la même pression dans toute sa direction. Un sceau plein d'eau qui pèse 100 livres sur la poulie du puits lorsqu'il est en haut, est donc censé peser autant

lorsqu'il est 50 ou 60 pieds plus bas, (abstraction faite du poids de la corde ;) & celui qui sonne une cloche fait toujours le même effort , soit que la corde ait beaucoup ou peu de longueur.

Nous regarderons aussi comme parallèles les directions de deux poids distans l'un de l'autre , quoiqu'à la rigueur elles soient un peu inclinées entr'elles , puisque tous les corps graves tendent à un même point qui est le centre de la terre ; mais nous en sommes trop éloignés , pour avoir à craindre aucun mécompte , en négligeant cette inclinaison.

Pour écarter tout ce qui est en quelque façon étranger à notre objet présent , dans toute cette Leçon nous ferons abstraction des frottemens & de la résistance des milieux ; obstacles cependant dont on doit bien tenir compte dans la pratique , & qui , lorsqu'on les néglige , ou qu'on manque à les estimer selon leur valeur , causent des erreurs considérables dans les calculs que l'on fait sur le produit des machines , comme nous l'avons fait voir dans la troisième Leçon , en

PREMIERE SECTION.

Du Levier.

UN Levier considéré mathématiquement n'est autre chose qu'une ligne droite sans pesanteur qui règle les distances & les positions de la puissance, de la résistance & du point d'appui. Si dans la pratique cette ligne devient pesante & courbe, son poids doit être considéré comme faisant partie de la puissance ou de la résistance, & sa courbure peut toujours se réduire à la distance qu'elle met entre ces deux forces, eu égard à leurs directions, ou bien entre l'une des deux & le point d'appui : ainsi *EFG* Fig. 2. équivaut à *eg*; & si les deux parties *EF*, *FG*, sont de fer, ou de quelque autre matière sensiblement pesante, chacune fait partie de la masse *E*, ou *G*, qu'elle soutient.

On distingue ordinairement trois genres de Leviers par les différentes positions

positions que l'on peut donner à la puissance, à la résistance & au centre du mouvement ou point d'appui. On pourroit, en suivant l'exemple de quelques Auteurs célèbres *, regarder comme deux autres puissances, ce que j'ai nommé résistance & point d'appui ; & alors la distinction des leviers en trois genres n'auroit plus lieu : mais il m'a semblé qu'il y avoit quelque avantage à suivre la méthode la plus usitée dans une Leçon, qui est moins un traité de mécanique, qu'un simple exposé des principes de cette science. Pour représenter donc ces trois sortes de leviers, je désignerai la puissance ou force motrice par une main *A*, la résistance par un poids *B* ; & le point d'appui par un pivot *C*. *

I X.
LEÇON.

** Traité de Mécaniq. de M. de la Hire.*

Les leviers du premier genre sont ceux où le point d'appui est entre la puissance & la résistance *Fig. 3*.

** Fig. 3, 4, 5, 6.*

Ceux du second genre ont la résistance entre le point d'appui & la puissance *Fig. 4*.

Dans ceux du troisième genre, la puissance est placée entre le point d'appui & la résistance *Fig. 5*.

18 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

Les espèces de chaque genre se distinguent par la distance qu'il y a de la puissance au point d'appui, relativement & par comparaison à celle qui est entre ce même point & la résistance. Si, par exemple, le pivot, au lieu d'être en *C* étoit en *c*, *Fig. 3.* ce seroit toujours un levier du premier genre; mais l'espèce seroit différente; ainsi pour s'exprimer exactement sur quelque levier que ce puisse être, on dira: « Il est de tel ou tel genre, » & les distances des forces résistantes & motrices au point d'appui, sont entr'elles dans le rapport de 2 à 3, ou à 4, ou à 5, &c. »

La distance de ces deux forces au point d'appui détermine le chemin qu'elles ont à faire, & par conséquent leurs vitesses; car, puisque l'une ne peut se mouvoir sans l'autre, il est évident que la puissance *A*, *Fig. 6.* n'emploiera pas plus de temps à parcourir l'arc *Aa*, que la résistance en consumera pour achever le sien *Bb*. Quand les tems sont égaux, les vitesses doivent se comparer par les espaces parcourus ou à parcourir, comme nous l'avons enseigné *, en par-

* *Tom. I. p. 193. & suiv.* me nous l'avons enseigné *, en par-

EXPÉRIMENTALE. 19

lant des propriétés du mouvement. Ainsi comme les arcs Aa , & Bb , suivent entre eux le rapport de leurs rayons AC , & BC , il est certain qu'en connoissant ces deux dernières distances, on sçait la vitesse de la puissance & celle de la résistance. D'où il suit :

IX.
LEÇON.

1°. Qu'un poids agissant comme puissance ou comme résistance, par un levier placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il est plus éloigné du point d'appui.

2°. Que deux masses égales opposées l'une à l'autre sur un semblable levier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles sont à égales distances du point d'appui, & qu'elles agissent en sens contraires.

3°. Que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales, quand leurs distances au point d'appui sont réciproquement comme les masses.

Ces trois propositions deviendront sensibles par des expériences.



20 LEÇONS DE PHYSIQUE

I. EXPERIENCE.

IX. LEÇON.

PREPARATION.

La *Figure 7.* représente une planche élevée verticalement sur une base & percée à jour par une rainure *HI* ; la pièce *K* est une espèce de chasse qui peut se placer à différens endroits de la rainure par le moyen d'une queue à vis qui traverse celle-ci , & qui s'arrête par derriere avec un écrou. *LM* , est une petite boîte de métal qui se meut sur deux pivots dans la chasse , & dans laquelle on fait glisser le levier *NO* , pour l'arrêter à tel endroit qu'on souhaite de sa longueur : par ce moyen le point fixe change de place , non-seulement sur la planche , mais même sur le levier ; les extrémités de ce levier sont percées pour recevoir des poids qui portent chacun une petite boucle en - dessous pour en recevoir d'autres. *P* est une masse qui est enfilée par le levier , & que l'on y arrête à tel endroit qu'il convient , pour le mettre en équilibre avec lui-même , dans les cas où le point d'appui n'est pas placé au milieu de sa longueur. *Q*

est une poulie très-mobile sur son axe , dont la mouffle se place en fourchette , & à telle distance que l'on veut sur le haut de la planche ; cette poulie est embrassée par un cordon qui porte d'un côté un poids , & de l'autre un crochet pour soutenir le levier , dans les cas où le point fixe se trouve placé à l'une des deux extrémités.

IX.
LEÇON.

Avec cette machine ainsi préparée , on peut mettre en expérience les leviers de tous les genres & de toutes les espèces , varier la puissance & la résistance , non-seulement quant à leurs distances au point d'appui , mais encore quant à leurs masses , ou quantités absolues , & par le moyen du contrepoids *P* , le levier peut toujours ressembler à une ligne mathématique , inflexible & sans poids.

Ces moyens étant donc supposés , nous nous abstiendrons de les faire reparoître dans nos figures , & nous représenterons chaque expérience par des lignes , afin d'écarter de nos explications ce qui est étranger , & de n'occuper l'attention du Lecteur que de l'objet dont il sera question.

22 LEÇONS DE PHYSIQUE

I X. Ayant donc disposé le levier de
LEÇON. manière que son point fixe se trouve entre deux poids , comme il est représenté par la *Fig. 8.* on remarquera ce qui suit.

E F F E T S.

1°. Si le point fixe est en *a* , c'est-à-dire , qu'il partage le levier en deux bras égaux , une puissance d'une livre soutient une résistance de même poids.

2°. Si le point fixe est en *b* , le bras de la puissance est deux fois aussi long que celui de la résistance ; une livre en *P* soutient deux livres en *R*.

3°. Si le point fixe est en *c* , il y a trois fois aussi loin de *c* en *p* , que de *c* en *r* ; la même livre employée en *P* en soutient trois placées en *R*.

I I. E X P E R I E N C E.

P R E P A R A T I O N.

Il faut disposer la machine que
* *Fig. 7.* nous avons décrite * , de manière que le point fixe se trouve à l'une des deux extrémités du levier , & que l'anneau dans lequel passe le levier

soutenu par la puissance P , puisse se placer d'abord au point 2, & ensuite au point 1. Voyez la Fig. 9.

E F F E T S.

Dans le premier cas, R pesant une livre, fait équilibre à P , dont le poids est 1 livre $\frac{1}{2}$.

Dans le second cas, pour avoir équilibre, il faut mettre les deux poids dans le rapport de 3 à 1, c'est-à-dire, que la masse P qui n'est éloignée du point d'appui que d'un espace, doit peser 3 livres pendant que l'autre R qui est à la troisième distance, n'en pèse qu'une.

Ce levier qui est du troisième genre, représente aussi celui du second, si l'on considère comme résistance, ce que nous avons regardé comme puissance.

E X P L I C A T I O N S.

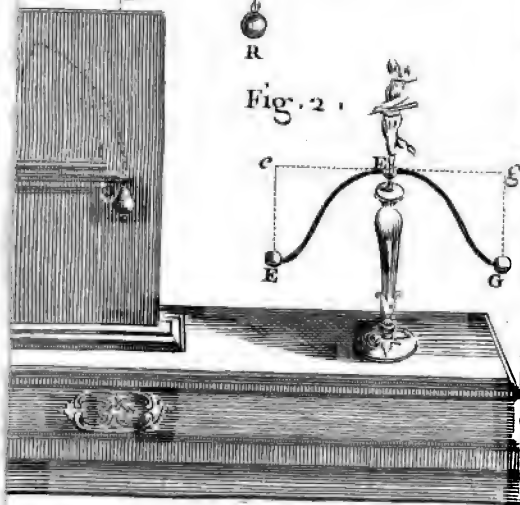
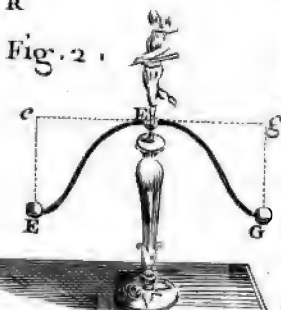
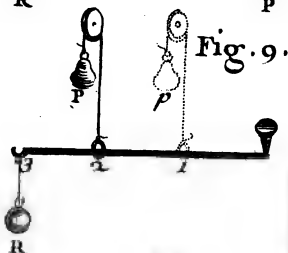
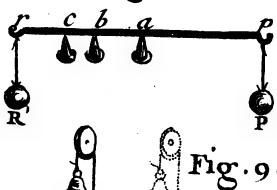
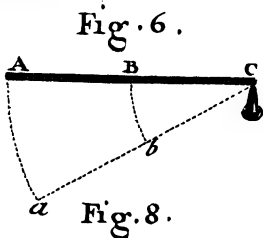
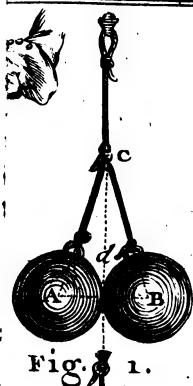
Les principes que j'ai établis d'abord, laissent peu de choses à dire pour expliquer les faits qui sont rapportés dans ces deux premières expériences. L'action ou la force d'un corps se mesure par la quantité de

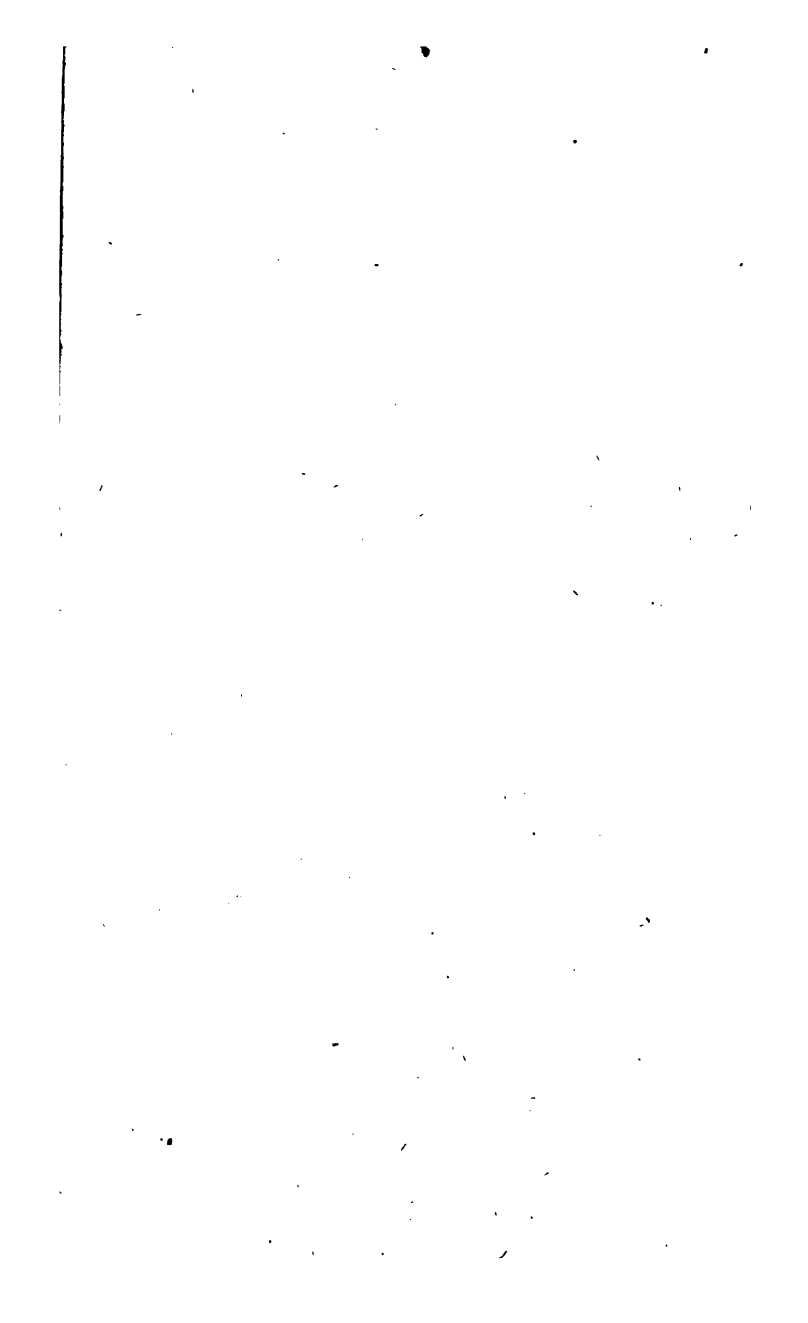
24 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

mouvement qu'il a , ou qu'il auroit ; s'il n'étoit pas retenu ; or la quantité du mouvement résulte de la masse multipliée par la vitesse. Sur un même levier la puissance & la résistance ne peuvent se mouvoir qu'en même tems ; leurs vitesses , c'est-à-dire , celles qu'elles ont , ou qu'elles auroient , si le mouvement avoit lieu , ne peuvent donc différer que par les espaces. S'il y a équilibre entre 1 livre & 1 livre , sur un levier horizontal partagé en deux bras égaux par le point d'appui , comme on l'a vû dans le premier résultat de la première expérience , c'est que ce levier ne peut se mouvoir , sans que les deux poids parcourent des arcs égaux en même-tems , ou (ce qui est la même chose) sans qu'ils ayent la même vitesse ; égalité de vitesses , & égalité de masses de part & d'autre , produisent des efforts égaux , qui se détruisent réciproquement , parce qu'ils se font en sens contraires , ce que l'on appelle *équilibre*.

Dans le second résultat on voit une livre qui en soutient deux , parce qu'elle est tellement placée qu'elle
auroit





EXPERIMENTALE. 25

auroit deux fois plus de vitesse que le poids opposé ; 1 de masse multiplié par 2 de vitesse , équivaut à 1 de vitesse multiplié par 2 de masse. Il est facile d'appliquer ce calcul aux autres effets.

IX.
LEÇON.

COROLLAIRE.

Puisqu'une puissance appliquée à un levier croît toujours à mesure qu'elle s'éloigne du point d'appui , comme on l'a pû voir par les expériences précédentes ; on doit en tirer cette conséquence , qu'une très-petite force , par le moyen d'un levier assez long , peut faire équilibre , ou vaincre une autre force infiniment plus grande. Archimédes avoit donc raison de dire qu'il enleveroit la terre entière , s'il avoit un point fixe qui en fût séparé : car en établissant sur cet appui un levier dont le bras du côté de la puissance , surpassât en longueur celui auquel il auroit attaché le globe terrestre , autant ou plus que le poids de ce globe ne l'emporte sur la force d'un homme , il est évident par les principes établis ci-dessus , qu'il eût acquitté sa promesse.

Tome III.

C

26 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON. se, par une démonstration, sans doute ; car il est inutile de dire , que le levier dont il faudroit faire usage dans une telle opération, ne peut jamais passer que pour un être de raison , comme le point fixe qu'il demandoit.

APPLICATIONS.

Les leviers sont d'un usage si commun non-seulement dans les Arts , mais même dans la vie civile & dans le mécanisme de la nature ; qu'on les rencontre presque par-tout, pour peu qu'on y fasse attention. Nous nous bornerons à quelques exemples , pour ne point entrer dans un détail trop long & superflu.

Les Charpentiers , les Maçons & autres Ouvriers qui ont à remuer de grandes pierres , ou de grosses pièces de bois , se servent très-souvent d'une barre de fer arrondie dans presque toute sa longueur , un peu courbée , & aplatie par un bout. Cet instrument qu'ils appellent communément *pied de chevre* , s'employe principalement de deux manieres. Quelquefois après avoir engagé l'extrémité aplatie , qu'on nomme *la pince* ,

entre la pièce qu'on veut mouvoir , & le terrain sur lequel elle repose , on fait porter le coude *A* , *Fig. 10.* sur quelque corps dur , & alors en appuyant sur l'autre bout de la barre *B* , on souleve le fardeau , d'une petite quantité à la vérité , mais assez pour donner la liberté de glisser dessous une corde , un rouleau , &c. ce qui suffit le plus souvent. D'autres fois aussi on avance un peu plus la pince sous la pièce qu'on veut remuer , & en soulevant la barre , on fait effort contre la partie *C* qui repose dessus. *Fig. 11.*

 I X.
LEÇON.

Le pied de chèvre , comme l'on voit , n'est autre chose qu'un levier , qui est du premier genre dans l'usage que nous avons cité d'abord ; car le point *A* , qui est l'appui , se trouve placé entre la puissance & la résistance. Dans l'autre usage , il est du second genre , puisque la résistance se fait au point *C* , entre la puissance & le bout de la pince qui est appuyé par terre.

Comme cet instrument s'emploie , pour l'ordinaire , à soulever de grands fardeaux , l'endroit du coude qui sert

Cij

 IX.
LEÇON,

de point d'appui, ou qui reçoit l'effort de la résistance, est toujours fort loin du bout que l'on tient à la main ; ainsi la puissance , toujours beaucoup plus éloignée du point d'appui , que la résistance , a sur elle un avantage considérable par cette position.

Les rames des Bateliers sont des leviers du second genre , dont on appuie un bout contre l'eau , pendant que la puissance appliquée à l'autre bout porte son effort à l'endroit du bateau où la rame est attachée : cet endroit partage la longueur de la rame en deux parties , dont l'une frappe l'eau , pendant que l'autre est mise en mouvement par les bras du Batelier : il seroit sans doute avantageux que l'une & l'autre fussent fort longues ; la première , parce qu'elle répondroit à un plus grand volume d'eau , & que le point d'appui en deviendrait plus fixe ; la seconde , parce qu'elle mettroit une plus grande distance entre la puissance & le point d'appui : mais il y a aussi des raisons qui obligent de borner cette longueur de part & d'autre selon les circonstances.

On ne peut allonger les rames du côté de la puissance sans exiger d'elle un plus grand mouvement ; celui d'un homme est borné à une certaine étendue , au-de-là de laquelle il travaille avec trop de fatigue : on en peut juger par la manœuvre des forçats lorsqu'ils sont quatre ou cinq appliqués à la même rame ; ceux qui sont au bout , quoique les plus robustes , peuvent à peine résister quelques années à ce violent exercice. Dans les petits bateaux où un seul homme fait agir deux rames , cette même longueur est encore bornée par le peu de distance qu'il y a d'un bord à l'autre ; car le Batelier qui est assis au milieu de cet espace , est la puissance commune à l'une & à l'autre rame.

Les rames qui sont fort allongées du côté de l'eau , exigent une navigation fort libre ; on ne peut guères en faire usage dans les petites rivières , dans celles qui ont beaucoup de sinuosités , qui sont remplies d'îles & de rochers , ou même dans les ports qui sont très-fréquentés , à cause des embarras qui s'y trouvent ; c'est par ces raisons sans doute que les ra-

IX.
LEÇON.

30 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

mes varient & de formes & de dimensions , suivant les circonstances des lieux , & les différentes manières de les employer.

Le couteau du Boulanger est encore un levier du second genre, lorsqu'arrêté par un bout sur une table, & tournant autour d'un point fixe, il est porté par la main qui tient le manche, contre un pain qu'il entame.

La bascule est un levier du premier genre qu'on reconnoît d'abord, lorsqu'on se représente une longue pièce de bois, appuyée par son milieu, & chargée à ses extrémités de deux personnes, dont l'une est enlevée par l'autre, lorsqu'en touchant le terrain, du pied ou autrement, elle soulage d'une partie de son poids le bras du levier où elle est.

Les ciseaux, les pincettes, les tenailles, ne sont encore que des leviers assemblés par paires; l'effort de la main ou des doigts qui mènent les deux branches, doit être considéré comme la puissance; le clou, ou ce qui en tient lieu, est un point fixe commun aux deux; & ce que l'on coupe, ou ce que l'on serre, devient la résistance.

Ceux de ces instrumens qui sont destinés à faire de grands efforts , comme les cisailles des Chaudronniers , ou des Ferblantiers , qui coupent des métaux , ont les branches fort longues par comparaison aux parties tranchantes qu'on nomme les *Couteaux* : de cette maniere la puissance agissant par un bras de levier très-long , est capable de vaincre une résistance fort grande. Par la raison du contraire , dans les pincettes qu'on nomme *Badines* , & qui n'ont d'autre effort à faire , que de transporter quelques charbons , cette légère résistance se fait aux extrémités de deux longues branches , qui sont des leviers du troisiéme genre ; l'endroit où ils se joignent par une charnière ou par un ressort foible , doit être regardé comme le point d'appui ; & la main qui les fait agir , est la puissance.

Les ciseaux dont on se sert pour découper ont les branches fort longues , & les lames très-courtes ; ce n'est pourtant pas qu'on ait besoin d'une grande force pour couper du papier mince : mais comme dans la découpure on a souvent de petites

32 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. Leçon.

parties à réserver , il faut que l'on puisse arrêter à propos les ciseaux ; & cela se peut faire facilement , quand le mouvement des doigts qui meut les branches , a beaucoup plus d'étendue que celui des lames.

Enfin les bras , les doigts , les jambes des animaux sont encore des leviers ou des assemblages de leviers , par lesquels la force des muscles est employée de la manière la plus convenable & la plus avantageuse , soit pour transporter le corps , soit pour approcher de lui tout ce qui lui est nécessaire ou utile , soit pour en écarter tout ce qui lui seroit nuisible. Un

* Borelli, de
motu animalium.

Auteur célèbre * a fait connoître en détail , & dans un ouvrage exprès , ce qu'il y a de plus remarquable dans cet admirable Méchanisme ; ceux qui ont du goût pour l'anatomie y trouveront de quoi le satisfaire.

DANS les deux premières expériences , le levier étant soutenu horizontalement , nous avons employé pour puissance & pour résistance des corps pesans dont les efforts se faisoient dans des directions verticales , c'est-à-dire , qu'elles faisoient des angles droits

avec la longueur du levier au moment que ces forces commençoient à agir. Mais il peut arriver , & il arrive très-souvent , soit par la situation du levier , soit par la nature des puissances qu'on employe , que leurs efforts se font obliquement ; & comme en général toute force qui agit obliquement , a moins d'effet que celle dont l'action est directe , il est important de connoître ce qu'on doit attendre de cette obliquité dans l'usage des leviers.

Lorsque les directions de la puissance & de la résistance sont obliques à la longueur du levier , il peut arriver qu'elles le soient toutes deux également ; il peut se faire aussi que ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité , & que l'une ou l'autre soit plus ou moins inclinée au levier ; dans ces différens cas , voici ce qu'il y a de plus important à sçavoir.

1°. L'effort d'une puissance est le plus grand qu'il puisse être , lorsque sa direction est perpendiculaire au bras du levier , par l'extrémité duquel elle agit. Ainsi le poids *B* , *Fig.* 12. ne suffiroit plus pour soutenir ce-

34 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

lui qui est en A , si, au lieu de peser dans la direction bB , il faisoit son effort obliquement, comme bD , ou bE .

2°. Deux forces qui agissent l'une contre l'autre, par les deux bras d'un même levier, gardent entr'elles le même rapport, si leurs directions, de perpendiculaires qu'elles sont, deviennent également obliques au levier. C'est-à-dire, que si les poids P, R , *Fig. 13.* sont en équilibre, cet état subsistera entr'eux; si leurs directions, s'inclinant au levier, demeurent parallèles l'une à l'autre comme ap, br .

3°. Si ces directions reçoivent différens degrés d'obliquité, de sorte que l'une des deux fasse avec le bras du levier, un angle plus ou moins grand que l'autre; celle des deux qui s'écartera davantage de l'angle droit, toutes choses égales d'ailleurs, rendra la puissance plus foible. Une force qui ne seroit donc que suffisante pour soutenir la masse Q , en agissant selon la direction Pp , *Fig. 14.* ne le seroit plus si elle sortoit de cette ligne; & elle le seroit d'autant moins, qu'elle

s'éloigneroit davanrage en se plaçant aux points *c, d, e, f*. Trois expériences rendront ces propositions évidentes. I. X.
LEÇON.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure 15.* représente une planche bien unie, & élevée verticalement sur une base ; en *F*, on a fixé une châsse assez semblable à celle d'une balance, pour servir de soutien à un levier *GH*, qui s'y meut librement sur deux pivots ; *IK*, est une règle qui glisse dans une coulisse, & qui porte en son extrémité une poulie qui est très-mobile. On fait passer sur cette poulie un cordon fort menu qui tient d'une part à l'extrémité *H* du levier, & qui est garni par l'autre bout d'un petit crochet qui sert à suspendre un poids. Par le moyen de la poulie & de la règle mobile sur laquelle elle est fixée, on peut varier comme l'on veut la direction du cordon, & par conséquent celle de la puissance qu'on y attache.

On met d'abord en équilibre deux

36 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. **LEÇON.**

poids dans des directions perpendiculaires aux bras du levier ; & ensuite en faisant passer le cordon sur la poulie , on rend oblique la direction de l'un des deux poids comme *a P* , ou *a D* , *Fig. 16.*

E F F E T S.

Lorsque la direction du cordon n'est plus perpendiculaire au levier , l'effort de la puissance *P* , ne suffit plus pour soutenir le poids de l'autre part , & l'équilibre ne se rétablit point jusqu'à ce que le cordon revienne dans la direction *a C*.

E X P L I C A T I O N S.

Le poids étant en *C* , fait équilibre à la résistance *E* , parce qu'il agit directement contr'elle ; car sa direction *a C* , étant parallèle à *b E* , c'est comme si ces deux forces étoient toutes deux opposées dans la même ligne. Ce levier du premier genre dont les bras sont égaux , ne fait rien autre chose que de mettre les deux forces en opposition : si l'une des deux *E* , tendoit naturellement de bas en-haut , on pourroit la placer en *a* , & l'é-

quilibre subsisteroit de même entr'elles , pourvû que leurs directions restassent directement contraires. Cette opposition directe est donc une condition absolument nécessaire : par conséquent , lorsque l'une des deux forces a sa direction perpendiculaire à l'un des bras du levier , toutes choses égales d'ailleurs , il faut que l'autre , pour lui être égale , fasse aussi un angle droit avec l'autre bras ; & si elle s'écarte de cette direction d'un côté ou de l'autre , son effort doit être moins grand. Supposons , par exemple , que la puissance agisse selon la ligne ad ; il est évident que la résistance E , ne seroit nullement soutenue : elle le fera donc d'autant moins , que la direction de la puissance sera plus inclinée au bras du levier par lequel elle agit , ou qu'elle s'écartera davantage de la ligne aC , perpendiculaire à ce même levier.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut mettre le levier GH , de la machine représentée par la Fig. 15.

38 LEÇONS DE PHYSIQUE

dans une position oblique comme

hi, & suspendre aux extrémités deux

LEÇON. poids égaux.

E F F E T S.

La direction de la puissance & de la résistance, étant celle qui est naturelle à tous les corps graves, est la même de part & d'autre ; elle forme avec le levier incliné, des angles semblables, liF , hFk ; cette égalité d'angles subsiste, quelque degré d'inclinaison qu'on fasse prendre au levier, & les deux poids conservent toujours leur équilibre.

E X P L I C A T I O N S.

Lorsque le levier étoit horizontal
 * Fig 15. comme GH^* , la distance perpendiculaire à la direction des puissances, étoit la même que la longueur des bras EG , FH , qui étoit égale de part & d'autre ; le levier s'étant incliné comme hi , cette distance à la direction perpendiculaire de chaque poids, a diminué des quantités lH , kG ; mais ces quantités sont égales entr'elles, par conséquent les restans lF , kF , conservent entr'eux le mê-

me rapport qu'auparavant ; c'est pour-
quoi l'inclinaison du levier n'a rien
changé à l'équilibre des deux poids.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Par le moyen de la machine * qui * Fig. 154
a servi dans les deux expériences pré-
cédentes , on met en équilibre deux
poids égaux aux bras d'un levier hori-
zontal ; ensuite on fait passer le cor-
don qui suspend l'un des deux poids
sur la poulie K, que l'on fait avan-
cer plus ou moins , pour donner à ce
poids successivement les directions ,
ad , *af* , Fig. 17.

EFFETS.

Plus la direction de la puissance
devient inclinée au levier , plus il
faut ajouter à sa masse pour la main-
tenir en équilibre avec celle de l'au-
tre part : c'est-à-dire , que si elle étoit
d'une livre lorsqu'elle étoit dans une
direction perpendiculaire au levier ,
il en faut une & demie quand la di-
rection est *ad* , & trois quand elle est
af.

 IX.
LEÇON.

Puisque l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsqu'elle agit selon la direction aP , perpendiculaire au levier, comme nous l'avons prouvé par la troisième expérience; c'est une conséquence nécessaire qu'elle ait moins de force, lorsqu'on l'emploie dans toute autre direction: & comme elle n'avoit qu'une force égale à la résistance, étant dans la position la plus avantageuse; elle doit être insuffisante, lorsqu'elle reçoit les directions obliques ad , af , c'est pourquoi l'on ne peut alors entretenir l'équilibre qu'en compensant par une augmentation de masse dans la puissance, ce qu'elle perd par l'obliquité de sa direction.

Pour juger de cette diminution qu'il faut compenser, ou pour connoître de combien la puissance s'affoiblit par les différens degrés d'obliquité qu'on fait prendre à sa direction, prolongeons ces directions par des lignes indéfinies ai , ak . Imaginons ensuite que le bras du levier ac , tourne sur son point d'appui, & qu'il décrit

décrit une portion de cercle, *aghi* *k*; il y aura un point dans sa longueur *m* ou *n*, sur lequel la direction prolongée tombera perpendiculairement; c'est donc sur ce point que la puissance exerce toute sa force; mais ce point, comme l'on voit, n'est plus à l'extrémité du bras du levier; sa distance au point d'appui est beaucoup moindre; en un mot, quand la direction de la puissance est oblique comme *ad*, c'est comme si elle étoit perpendiculaire au point *b*; & lorsqu'elle agit par la ligne *af*, elle n'a que la force qu'elle auroit, si elle étoit suspendue au point *e*: or ces deux points *e*, *b* partagent ce bras du levier en trois parties égales, & puisque l'autre bras est de même longueur, il a trois parties semblables à celles-ci. La masse *R*, étant d'une livre multipliée par trois de distance au point d'appui, donne 3, qui est la valeur de la résistance; si nous suspendons une autre masse en *b*, pour servir de puissance, il faut qu'elle soit d'une livre & demie, qui multipliée par deux de distance, égalera le produit de l'autre part: & si nous la pla-

42 LEÇONS DE PHYSIQUE

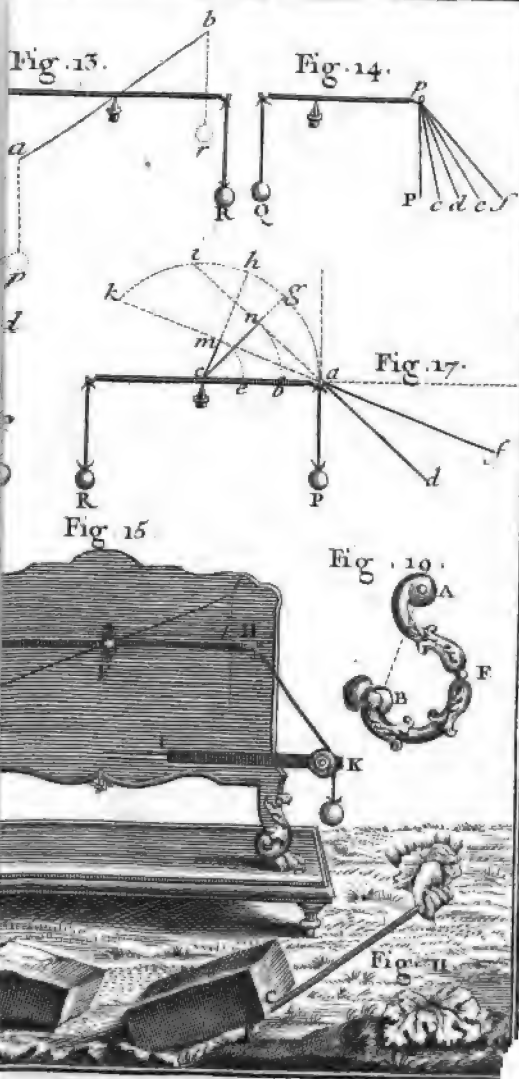
IX.
LEÇON.

cons en e , la distance au point d'appui n'étant plus que 1, il faut nécessairement 3 de masse pour faire équilibre.

Ces masses 1 livre $\frac{1}{2}$ & 3 liv. sont, comme l'on voit, en raison réciproque des distances bc , ec , que l'on met entr'elles & le point d'appui; elles ont aussi le même rapport avec les lignes cm , & cn , qui sont doubles l'une de l'autre; & comme celles-ci, sont les sinus des angles acm , acn , on peut comprendre d'une manière plus générale tout ce que nous venons d'expliquer, par cette proposition : *les différens efforts d'une puissance appliquée à l'extrémité d'un bras de levier selon différentes directions, sont entr'eux comme les sinus des angles que font ces directions avec le levier.*

Il suit aussi de cette proposition, que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être quand la direction est perpendiculaire au levier, comme nous l'avons déjà prouvé* : car alors, elle fait un angle droit Pac , dont le sinus est ac ; c'est-à-dire, le rayon même ou le bras entier du levier.

* III. Exp.
P. 35.





Il y a quantité de machines & d'instrumens , qu'on fait mouvoir par le moyen d'un bras de levier , qu'on nomme *manivelle*.

Quelque figure qu'on lui donne , soit qu'on la courbe comme celle du gagne-petit , *Fig. 18.* & la plupart de celles des rouets qu'on fait tourner avec le pied , soit qu'on la façonne en S , *Fig. 19.* comme le sont ordinairement celles des vielles ; elle se réduit toujours à un bras de levier droit , dont la longueur est déterminée par la distance qu'il y a entre le manche B & l'œil A , qui reçoit le bout de l'arbre tournant.

Dans les cas où la résistance n'est pas bien considérable , il importe peu quel angle fasse la direction de la puissance avec la ligne AB ; mais lorsqu'il faut mener de grandes manivelles , avec beaucoup de force , on s'apperçoit bientôt que l'effort avec lequel on agit , n'a pas un avantage égal dans tous les points de la révolution. Cette inégalité vient des différentes manieres dont la puissance

44 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

se trouve dirigée au bras du levier pendant qu'il tourne : c'est ce que l'on concevra facilement, si l'on imagine que la manivelle CH , *Fig. 20.* reçoit son mouvement circulaire d'une règle DH , qui lui est jointe, & qui la pousse & la tire alternativement. Car selon ce que nous avons prouvé par la troisième expérience, cette règle agit avec tout l'avantage qu'elle peut avoir, lorsqu'elle fait avec la manivelle un angle droit comme CHD , ou Cik , soit en poussant, soit en tirant. Mais lorsque la manivelle est aux points b , ou e , on voit que la direction de la puissance, représentée par la règle, fait avec elle des angles de plus en plus aigus, & que cette obliquité diminue beaucoup de l'effort.

Ce que nous disons de la règle DH , il le faudroit dire du bras d'un homme, appliqué à une manivelle, s'il ne faisoit que tirer & pousser dans la même direction : mais il fait plus ; lorsque son effort s'affoiblit par une direction désavantageuse en poussant, il avance son corps, de sorte qu'une partie de son poids se porte

dans la direction *bf*, ou *eg*; lorsqu'il tire, il se baisse & se renverse un peu; & par ces différens moyens, il redresse, pour ainsi dire, la direction de la puissance, & l'angle qu'elle fait avec la manivelle demeure plus ouvert qu'il ne le seroit, sans ces mouvemens du corps, qui se font sans attention, & par des ouvriers les plus grossiers, qui n'ont pris sur cela que les leçons de la Nature & de l'habitude.

Mais ces sortes de mouvemens ne se font pas sans fatigue; il est toujours vrai de dire, que celui qui tourne la manivelle, n'est en pleine force que dans certaines parties de la révolution: c'est peut-être pour cette raison que dans les machines qui se meuvent avec deux manivelles, on est dans l'usage d'opposer la longueur de l'une à celle de l'autre, comme *EF*, & *GH*, *Fig. 21.* afin que des deux hommes qui les menent, l'un se trouve dans une position favorable, pendant que l'autre travaille avec désavantage: mais cette disposition ne me paroît pas la meilleure qu'elle puisse être: j'aimerois mieux que les deux manivelles fissent en-

46 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

semble un angle droit, que d'être opposées directement. Car si l'on partage la révolution entière en quatre quarts, on peut voir par la *Figure 20.* qu'un homme qui élève la manivelle d' I en m par l'action des muscles, ou qui l'abaisse de b en n par l'effort de son poids, a beaucoup plus de force que quand il la porte en avant d' m en b , ou qu'il la tire à lui d' n en l : mais ces deux dernières parties comme les premières, sont directement opposées entr'elles; quand on oppose de même les deux manivelles, ceux qui les font agir, se trouvent donc en même tems en pleine force, & en même tems, aussi dans les positions les moins favorables: la même chose n'arriveroit pas, si les manivelles faisoient entr'elles un angle droit, l'un des deux parcourroit l'arc lm , pendant que l'autre passeroit par l'espace mb .

Pour changer la direction du mouvement, il arrive souvent, qu'au lieu d'employer un levier droit, on dispose les deux bras de maniere qu'ils font un angle au point d'appui, comme IKL , *Fig. 22.* Ces leviers angulai-

res, qu'on nomme aussi *manivelles coudées*, sont fort en usage pour les pompes, pour les mouvemens des sonnettes qu'on place dans les appartemens, pour la sonnerie des horloges & des pendules, & dans une infinité d'autres occasions où l'action du moteur ne peut se transmettre que par des voies indirectes. Ils ont les mêmes propriétés qu'un levier droit; car lorsqu'en tournant, ces deux bras disposés en équerre se trouvent obliques aux directions ml, in , de la puissance & de la résistance, cette obliquité est égale de part & d'autre; oKl, iKh , sont semblables; en un mot, les distances du point d'appui K ; aux directions perpendiculaires, mo, ih , sont entr'elles dans les mêmes rapports que LK , & IK .

Ce que nous avons nommé jusqu'ici, le point d'appui, doit être considéré comme une troisième puissance qui fait équilibre à la force motrice ou à la résistance, ou qui concourt avec l'une des deux pour porter l'effort de l'autre: dans les leviers du premier genre, par exemple, le point d'appui soutient l'effort

48 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON. des deux forces qui sont opposées de part & d'autre; dans ceux du second & du troisième genre, il ne porte qu'une partie de l'une des deux.

Ce n'est pas toujours un point fixe & inébranlable qui sert d'appui; le plus souvent ce sont des corps flexibles ou qui peuvent s'écraser, ou bien des corps animés, dont la résistance n'est point à l'épreuve de tout effort. Lorsqu'une poutre, par exemple, repose par ses extrémités sur les deux murs d'un bâtiment, son propre poids ou celui dont elle est chargée, les feroit s'écrouler s'ils n'étoient bâtis assez solidement. Les mulets qui portent des brancarts succombent sous la charge quand elle excède leurs forces. Il est donc important de sçavoir de combien est chargé le point d'appui, ou ce qui en fait l'office, lorsque deux autres forces agissent l'une contre l'autre sur le même levier, afin de le pouvoir mettre en proportion avec l'effort qu'il doit soutenir: & comme ce point d'appui pourroit bien être de nature à ne pas résister également dans toutes sortes de directions, il faut examiner

miner aussi comment se dirige l'effort qu'il soutient par les différentes directions qu'on peut donner à la puissance & à la résistance. Nous avons fait voir précédemment , que l'action d'une puissance quelconque appliquée au bras d'un levier , résulte de deux choses : 1°. De sa masse , ou du poids auquel elle équivaut , si c'est un ressort , l'effort d'un animal , ou toute autre force qui n'agit point en vertu de la pesanteur ; 2°. De sa distance au point d'appui ; & nous avons fait connoître d'où il faut compter cette distance. * L'effort qui vient de la masse & qu'on peut nommer *absolu* , est limité ; une livre , ou l'action d'une puissance équivalente à une livre , lorsqu'elle pèse sur le bras d'un levier , dans la direction la plus avantageuse , ne peut que faire équilibre à un pareil poids qui lui est opposé avec les mêmes circonstances. Mais l'effort qui vient de la distance au point d'appui peut croître à l'infini ; de sorte que si l'un des deux bras étoit 100 fois aussi long que l'autre , une livre deviendrait équivalente à 100. Quelle sera donc

IX.
LEÇON.

* V. Exp.
Fig. 17.

la charge sur le point d'appui, premièrement, s'il y a équilibre avec égalité de masse ; secondement, si les masses ou les forces sont en équilibre par l'inégalité de leurs distances au point d'appui ?

Pour répondre à la première question, je dis que si les directions de la puissance & de la résistance sont parallèles entr'elles, le point d'appui se trouve chargé de la somme des deux forces absolues, & son effort se fait dans une direction parallèle à celles de la puissance & de la résistance.

Mais si les directions des deux forces opposées sont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort absolu ; il en porte d'autant moins qu'elles sont plus inclinées au levier ; & sa résistance tend au point de concours de ces deux directions : deux expériences serviront d'éclaircissemens & de preuves.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au revers de la machine qui est re-

EXPÉRIMENTALE. 51

présentée par la *Figure 15.* on a fixé , à deux poudes de distance du plan , les poulies *A & B*, *Fig. 23.* qui sont très-mobiles sur leurs axes ; & par le moyen desquelles on suspend horizontalement un levier d'acier *DE*, que l'on tient en équilibre avec les deux petits poids *p, r* ; on suspend ensuite au poids *C* un poids de 4 onces , & aux bouts des cordons deux autres poids , *P, R*, qui présentent chacun 2 onces.

IX.
LEÇON.

E F F E T S.

Tout étant ainsi disposé , le poids qui est en *C* tient les deux autres *P, R*, en équilibre ; si l'on ôte les deux petits , *p, r*, le poids de 4 onces descend par la ligne *CI* ; il remonte au contraire par la ligne *CF*, si l'on ajoute également aux masses *P, R*.

VII. EXPÉRIENCE.

P R E P A R A T I O N.

Cette expérience se prépare comme la précédente , excepté que le levier *IK*, *Fig. 24.* est plus court que *DE*, *Fig. 23*, & que le poids *L* n'est que de 3 onces.

. E ij

52 LEÇONS DE PHYSIQUE

EFFETS.

IX.
LEÇON.

Les deux directions KN , IQ , des deux puissances P , R , étant obliques au levier, à quelque degré d'obliquité que ce soit, le poids L est toujours moindre que 4 onces pour faire équilibre aux deux autres qui pèsent chacun deux onces : si les directions KN , IQ , deviennent moins obliques au levier, comme NO , QS , il faut augmenter la masse L pour conserver l'équilibre ; & quand ce poids descend ou remonte, c'est toujours par la ligne LM .

EXPLICATIONS.

Dans ces deux dernières expériences, on peut regarder le poids P comme la puissance, R comme la résistance, & la masse qui est suspendue au point C , ou L , comme la valeur de l'effort qui se fait au point d'appui lorsque tout est en équilibre ; car il est évident que sans ce dernier poids, le levier seroit emporté de bas en haut par les deux autres puissances. Or il faut 4 onces au point C , quand les deux masses P , R , sont chacune

de deux onces , & que leurs actions sont toutes deux dans des directions perpendiculaires au levier , comme AD , BE^* ; nous avons donc eu raison de dire , qu'en pareil cas le point d'appui est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance ; & puisque le poids qui représente l'effort du point d'appui se meut dans la ligne IF , quand il devient plus fort ou plus foible ; c'est une marque qu'il agit suivant cette direction , qui est , comme nous l'avons annoncé , parallèle à celles de la puissance & de la résistance.

Dans l'autre expérience , on voit encore la preuve de ce que nous avons avancé ; le poids qui suffit pour arrêter le point L du levier contre les efforts qui se font en I & en K , n'est jamais de 4 onces ; comme il faut qu'il le soit , quand les directions des puissances sont perpendiculaires au levier ; ce qui prouve bien que le point d'appui n'est plus chargé de la somme entière des deux masses P , R ; & cela doit être ainsi , puisque , comme nous l'avons prouvé & expliqué , l'action d'une puissance est d'autant

IX.

LEÇON.

* Fig. 23.

54 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

diminuée, que sa direction est oblique au bras du levier par lequel elle agit : enfin l'effort du point d'appui se dirige au point *M*, parce que c'est là que se réunissent, par leurs tendances, les deux forces auxquelles il résiste.

Quant à la seconde question, savoir quel est l'effort qui se fait sur le point d'appui lorsque la puissance & la résistance se mettent en équilibre par des distances inégales entr'elles & le point d'appui : je réponds que cet effort n'est jamais plus grand que la somme des forces absolues ou des masses qui sont opposées ; c'est-à-dire, que si le poids d'une livre soutient un de 12, parce qu'il agit par un bras de levier qui est douze fois plus long que celui de l'autre part, le point d'appui ne peut jamais être chargé que de 13 livres, & non pas de 24 ; & son effort se dirige comme dans les cas précédens, parallèlement aux directions des forces qu'il soutient, si ces directions sont parallèles entr'elles, ou bien directement au point de leur concours, si elles sont inclinées l'une à l'autre.

VIII. EXPERIENCE

PRÉPARATION.

IX.
LEÇON.

Sur une même base *AB*, *Fig. 25.* on a élevé deux piliers qui glissent dans deux mortaises, de manière qu'ils peuvent s'approcher & s'écarter l'un de l'autre ; *C, C*, sont deux poulies, sur chacune desquelles passe un petit cordon pour soutenir une petite tringle d'acier *EE*, par le moyen des deux petits poids *D, D* ; la pièce *FG*, est une verge de fer qui est un peu entaillée en-dessous aux $\frac{3}{4}$ de sa longueur, & qui, par le moyen d'un poids que l'on attache en *F*, se met en équilibre avec elle-même, & avec les petits poids *D, D*, que l'on augmente autant qu'il le faut pour cet effet.

On suspend d'abord en *F*, un poids de 6 onces ; en *G*, un autre poids de 2 onces ; & l'on ajoute aux petits contre-poids qui sont en *D, D*, deux masses de 4 onces chacune. Voyez la *Fig. 26*, où l'on a représenté, par des lettres de mêmes noms, celles de ces quantités seulement qui intéressent la théorie.

56 LEÇONS DE PHYSIQUE

EFFETS.

IX.

LEÇON.

Il y a équilibre par-tout : 1°. Entre les deux masses inégales qui sont appliquées au levier fg ; 2°. Entre ce levier qui est ainsi chargé, & les deux poids d, d , qui soutiennent le point d'appui e , ou plutôt, qui représentent son effort ; & si l'on souleve un peu ces deux derniers poids, aussitôt le point d'appui descend par la ligne eK .

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut écarter l'un de l'autre les deux piliers A, B , de la machine * *Fig. 25*. que nous avons décrite *, en sorte que la direction du cordon de chaque côté devienne oblique au levier, comme ce, ce , *Fig. 27* ; ensuite la verge fg , ayant été avancée jusques aux deux tiers de la longueur de la tringle d'acier ee , on met en L & en M des masses telles qu'il les faut pour tenir le tout en équilibre.

EFFETS.

Alors le poids L se trouve être de

8 onces , & celui qui est en *M* , de 4 onces , ce qui fait en somme 12 onces de masse ; & lorsqu'on diminue cette quantité , ou qu'on souleve ces deux poids , le point d'appui *H* descend en suivant la ligne *HI* , ce qui s'apperoit facilement , si l'on place derrière un fil à plomb. La même chose arrive , si l'on met en *H* un poids de 8 onces au lieu du levier *fg* chargé de ses deux poids.

EXPLICATIONS.

Dans la huitième expérience , il y a équilibre entre une masse de 6 onces & une autre de 2 onces ; parce que celle ci qui n'est que le tiers de l'autre est trois fois autant éloignée qu'elle du point d'appui ; & nous avons fait voir qu'en pareil cas l'excès de vitesse d'une part , compense l'excès de la masse de l'autre part : mais quoiqu'une puissance augmente à mesure que le bras du levier devient plus long , il ne paroît pas que cet accroissement charge aucunement le point d'appui , puisque l'effort qui se fait en *g* * , quoiqu'équivalent au poids de

58 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. 6 onces qui pèse en f , ne produit point en e la somme de 12, mais seulement celle de 8, exprimée par les deux poids d, d , de 4 onces chacun, & égale aux deux masses qui sont en équilibre aux bras du levier fg . La même chose se prouve encore plus directement par la neuvième expérience, puisqu'en substituant en H * un seul poids qui égale en masse celle du levier chargé, les mêmes effets subsistent.

* Fig. 26. Si rien ne soutenoit le levier, * que les deux puissances restassent en équilibre entr'elles, & perpendiculaires aux extrémités f & g : il est évident que tous les points compris entre ces deux derniers, tomberoient par des lignes parallèles à celles des puissances; & c'est ce que l'on voit arriver lorsqu'on souleve un peu les deux poids d, d : le point d'appui descend par la ligne eK ; cette ligne exprime donc sa tendance de bas-en-haut, ou la direction de son effort.

On peut dire aussi que si ces puissances cédoient de part & d'autre à l'effort qui se fait au point H , * pourvu qu'en cédant elles ne changeassent

point de rapport, les deux extrémités du levier décroiroient en descendant, les parallèles $e N$, $e O$, & le point d'appui se trouveroit toujours dans la ligne $H I$; son effort se fait donc dans cette ligne où les directions des puissances se joignent lorsqu'elles sont inclinées entr'elles.

IX.
LEÇON.

APPLICATIONS.

Puisque l'on peut sçavoir combien il se fait d'effort sur un appui, ou sur tout ce qui en fait l'office, lorsque l'on connoît la valeur absolue des puissances & leurs directions à l'égard du levier, par lequel elles agissent; on peut donc prévenir les accidens qui pourroient naître des disproportions, ou mettre à profit des forces qu'on regarderoit comme insuffisantes si l'on ne sçavoit pas les appliquer avec tout l'avantage qu'elles peuvent avoir.

Que l'on place par exemple, une charge de 200 livres au milieu d'un levier dont les extrémités reposent sur les épaules de deux hommes; ces deux appuis suffiront au fardeau, si chacun des porteurs est capable de

60 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

soutenir 100 livres. Mais si l'un des deux n'en peut porter que 50, quand bien même l'autre pourroit suffire à un effort de 150 livres, le plus foible ne succombera pas moins, tant que le fardeau sera à égales distances entre son collègue & lui; & tous deux deviendront inutiles pour l'ouvrage qu'on en attendoit. Mais que l'on place la charge plus loin du porteur le plus foible, & que les bras du levier devenus inégaux, soient en raison réciproque des efforts dont les deux hommes sont capables; & alors le fardeau sera soutenu, comme il auroit pû l'être d'abord par deux autres hommes qui auroient pû suffire chacun à un effort de 100 livres.

Qu'un Charpentier porte une solive, c'est toujours à peu-près par le milieu de la longueur qu'il la pose sur son épaule: en la plaçant ainsi, il ne porte que le poids de la pièce de bois, parce que les deux bouts qui passent de part & d'autre, se font équilibre réciproquement; & le point d'appui n'est chargé que de la somme totale des deux masses. Mais s'il la posoit aux deux tiers, ou aux trois

EXPÉRIMENTALE. 61
quarts de sa longueur, il seroit obligé, pour l'empêcher de tomber, de la retenir avec ses bras par le bout le plus court; & cet effort seroit équivalent à un poids qui seroit équilibre avec l'excès de longueur que la solive auroit du côté opposé : l'épaule du porteur seroit donc inutilement chargée de cette quantité de plus.

IX.
LEÇON.

Ces deux exemples que je viens de citer sont si simples, & se rencontrent si fréquemment, que la plupart de ceux qui nous donnent lieu de les remarquer, suppléent au raisonnement par l'habitude & par le seul instinct de la nature. Mais il y a une infinité de cas où l'on a besoin d'être instruit & de réfléchir, & où l'on ne réussit que par une application raisonnée de ces mêmes principes dont nous avons naturellement une idée confuse.

Ce n'est aussi qu'en réfléchissant sur ces loix de la nature, qu'on peut se rendre compte d'un nombre infini de précautions & d'usages que nous adoptons dès l'enfance, ou que nos besoins & la seule industrie ont fait naître.

62 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

Pourquoi , par exemple , un homme qui tire un bateau ou quelque fardeau attaché au bout d'une corde , se penche-t-il en avant ? c'est qu'il appuie l'action des muscles sur une partie du poids de son corps pour vaincre la résistance contre laquelle il agit. Mais s'il manque de point fixe , si celui qu'il a ne l'est point assez , soit par sa nature , soit par une direction défavorable ; s'il marche sur un plan mobile , tel qu'un bateau qui n'est point arrêté ; s'il est sur un terrain glissant ou incliné ; toutes ces causes , qui se réduisent à un défaut d'appui , rendent ses efforts inutiles , ou en diminuent les effets.

C'est pour prévenir des inconvéniens de cette espèce , que l'on jette de la cendre ou du fumier , sur les endroits fréquentés qui sont couverts de verglas , & que dans les grands hyvers on met des pointes aux fers des chevaux , ce que l'on nomme , *ferrer à glace*. Sans cette pointe ou talon que l'on pratique aux patins pour piquer la glace , où pourroit-on prendre son point d'appui pour s'élancer sur un plan dont l'avantage le plus

considérable est de n'avoir aucune inégalité qui puisse arrêter le pied ? Les peuples du Nord qui sont obligés le plus souvent de voyager sur la neige , marcheroient sur un appui qui ne seroit point assez fixe , s'ils ne prenoient la précaution de se mettre aux pieds des espèces de raquettes , beaucoup plus larges que la semelle de nos souliers , par ce moyen ils s'appuient en marchant sur une plus grande partie du plan , ce qui supplée à son défaut de solidité.

IX.
LEÇON.

Quand des chevaux tirent une voiture en montant , ce qui les fatigue ; n'est pas seulement le poids de la charge qui est alors moins soutenue par le terrain , c'est encore l'inclinaison de ce terrain qui leur présente le point d'appui dans une direction fort oblique à celle de leur effort , car leurs jambes , en se roidissant contre le terrain , s'inclinent dans le même sens que lui ; & l'on conçoit bien que plus elles s'approchent du parallélisme , moins les pieds sont appuyés : c'est pourquoi l'on pratique souvent dans ces sortes de chemins certaines inégalités qui facilitent le tirage ; sem-

64 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

blables à peu-près aux marches de nos escaliers, qui présentant un plan horizontal à l'effort du pied qui se fait dans une direction presque verticale, résistent beaucoup mieux que ne pourroient faire des portions du plan incliné sur lesquelles elles sont établies.

Ceux qui sont dans l'usage de tourner doivent sçavoir combien il est nécessaire qu'un levier soit bien appuyé, pour soutenir les efforts opposés de la puissance & de la résistance : car qu'est-ce qu'un ciseau, une gouge, un burin, sinon un levier du premier genre appuyé sur un support, & dont la main du tourneur porte le tranchant ou la pointe contre un morceau de bois, de cuivre, de fer, &c. ? Si le support n'est pas bien ferme par lui-même, s'il n'est pas proportionné aux efforts qu'il doit soutenir, si sa position, ou celle de l'outil qu'il soutient, donne à sa résistance une direction désavantageuse, il en résulte, comme l'on sçait, beaucoup de mauvais effets ; les matieres dures se tournent par ondes, (ce qu'on appelle, *guillocher*,) celles qui sont tendres s'arrondissent

s'arrondissent imparfaitement, l'outil s'engage, & fait de faux traits; en un mot, c'est un défaut essentiel dans un tour, lorsque ce qui doit servir d'appui aux outils, manque ou de solidité ou de mouvemens nécessaires pour lui donner les directions les plus convenables; & celui qui ne sçait pas placer le support avantageusement, n'est point un habile tourneur.

DES MACHINES.

Qui sont composées de Leviers, ou qui agissent comme des Leviers.

Les leviers entrent dans la construction d'un si grand nombre de machines, qu'il ne seroit pas possible de les y faire remarquer par un détail exact. Les Auteurs qui ont traité le plus amplement de la mécanique, se sont dispensés avec raison, de cet examen superflu, & se sont contentés, après avoir établi les principes, d'indiquer par quelques exemples choisis, l'application qu'on en fait dans les arts: les bornes que nous nous sommes prescrites, exigent que nous en usions avec encore plus de

66 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

réserve ; c'est pourquoi nous ne parlerons ici que des machines les moins composées, de celles qui s'éloignent si peu de la simplicité du levier, qu'on les compte quelquefois au nombre des machines simples.

De la Balance commune & de la Romaine.

La balance ordinaire représentée par la *Figure 28.* est une machine qui sert à mettre en équilibre deux quantités égales de matière, de sorte que si l'on connoît le poids de l'une, on sçait, par ce moyen, combien pèse l'autre.

Cette machine est composée d'un *fléau AB*, dont la longueur est partagée en deux parties égales par un *axe* ; de deux *bassins*, *C, D*, suspendus aux deux extrémités des bras du fléau, & d'une *chasse EF*, qui sert d'appui à l'axe, où est le centre du mouvement.

On reconnoît facilement que cette balance n'est autre chose qu'un levier partagé en deux bras égaux par son appui, & chargé des efforts d'une

puissance & d'une résistance dont les directions sont parallèles entr'elles, & perpendiculaires à sa longueur, lorsqu'il est horizontal comme AB ; ou faisant avec elle des angles égaux de part & d'autre; lorsqu'elle est inclinée comme ab ; de sorte que s'il étoit possible de faire une balance d'une matière inflexible & sans pesanteur, nous aurions peu de choses à ajouter à ce que nous avons dit & prouvé précédemment. Mais comme la nécessité où l'on est de faire le fléau de quelque matière dure telle que du fer ou du cuivre, & de lui donner une figure & des dimensions qui l'empêchent de plier, fait quelquefois perdre de vûe ce que prescrit la théorie; je crois qu'il est à propos d'examiner en peu de mots ce qui peut rendre une balance juste ou défectueuse.

Les qualités essentielles d'une balance sont, 1°. d'être bien mobile, c'est-à-dire, que la plus petite différence entre les deux quantités de matière dont elle est chargée fasse trébucher le fléau, afin qu'on puisse regarder son état d'équilibre, comme

F ij

IX.
LEÇON.



68. LEÇONS DE PHYSIQUE

IX

LEÇON.

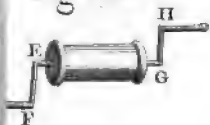
le signe certain d'une égalité parfaite dans les masses de part & d'autre : 2°.

Que ses bras soient toujours bien égaux ; car s'ils ne le sont pas , ils mesureront des distances inégales du point d'appui aux points de suspension où se font les efforts des puissances , & deux masses égales ne pourront point s'y mettre en équilibre :

3°. Que les bras soient dans une même direction ; car autrement il sera difficile de juger s'ils font des angles égaux de part & d'autre avec les directions des puissances. Il n'est point facile de concilier ensemble ces trois points de perfection ; il se rencontre, dans la construction de l'instrument , plusieurs difficultés à vaincre ; & dans l'usage même , une balance exige des attentions sans lesquelles la plus exacte cesse de l'être.

La mobilité d'une balance dépend principalement de trois choses ; savoir , du plus ou moins de frottement qui se fait à l'axe ; car on sait que c'est un obstacle au mouvement ; de la position du centre de pesanteur qui peut être placé hors du centre de mouvement ; & de la longueur des

Fig. 21.



M

m

L

o

Fig. 22.



Fig. 24.

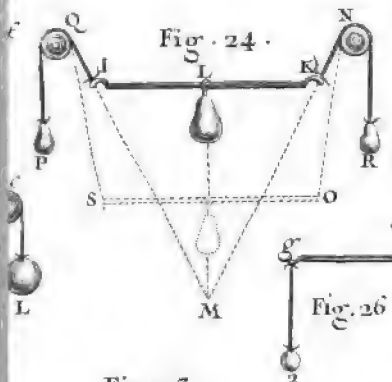


Fig. 26.



Fig. 23.

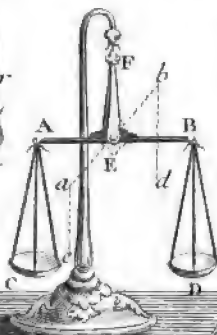
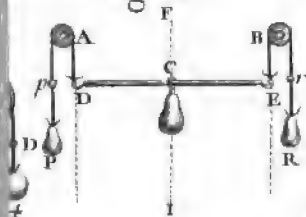
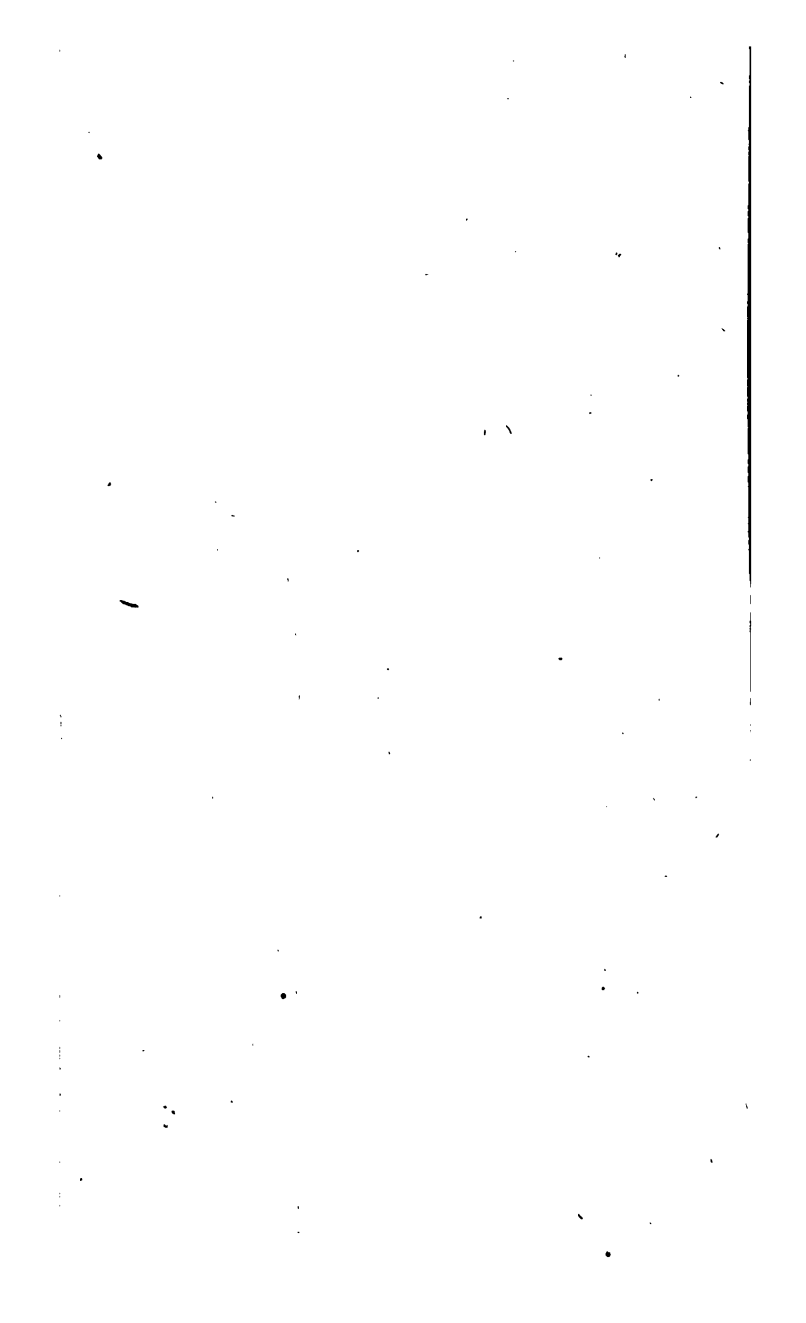


Fig. 28.



bras, puisqu'un très-petit poids peut faire un grand effort, étant fort éloigné du point d'appui.

Pour rendre la balance plus mobile par la diminution du frottement, il faut que la pression au point d'appui soit la moindre qu'il est possible : & c'est pourquoi l'on fait très-léger le fléau des balances d'essais, où l'on a besoin d'une très-grande mobilité : mais il faut prendre garde aussi qu'étant trop foible il ne plie sous la charge des bassins ; car sa courbure auroit d'autres inconvéniens dont nous ferons bien-tôt mention. C'est encore dans la vûe de diminuer le frottement de l'axe, qu'on le fait un peu en couteau : & cette pratique est bonne, pourvû cependant que l'endroit du trou sur lequel il porte, soit comme lui très-dur ; car autrement, ou il se creuseroit avec le tems, ou il s'écraseroit lui-même ; & sa mobilité, au lieu d'être augmentée, diminueroit considérablement.

Si le fléau de la balance est suspendu par le centre de sa pesanteur, ses deux bras seront toujours en équilibre, dans quelque situation qu'on

 IX.
 LEÇON.

les mette ; & pour peu que l'un des deux soit plus chargé que l'autre, la balance trébuchera : cette extrême mobilité devient incommode dans l'usage ordinaire , parce qu'il faut beaucoup de tems & d'attention pour charger les bassins avec une égalité aussi parfaite qu'il le faudroit pour les tenir en équilibre ; c'est pourquoi l'on a coutume de placer le centre du mouvement au-dessus de celui de la pesanteur. On peut voir, par la Fig. 29. avec quelle réserve il faut user de ce correctif, qui n'est , à proprement parler, qu'une imperfection mise à dessein ; car si le triangle ABC représente un fléau de balance mobile sur le point C , & qu'on lui fasse prendre une situation inclinée comme ab , le centre de pesanteur qui est dans la ligne CD , quand les deux bras sont dans un plan horizontal, se trouvera alors dans la ligne Cd , & fera effort pour revenir dans la ligne verticale qu'il a quittée ; s'il est libre d'y revenir, l'accélération de sa chute le fera passer outre, il viendra en f ; & c'est ce qui cause ces balancemens qu'on remarque à tous les fléaux, & qui

n'auroient pas lieu si le centre de pesanteur n'étoit plus bas que le centre de mouvement.

IX.

LEÇON.

Puisque de tels fléaux ne peuvent s'incliner sans que le centre de pesanteur se déplace, & que ce déplacement ne peut se faire sans un effort particulier, il est évident que cette construction ôte à la balance une partie de sa mobilité, & qu'on ne doit éloigner le centre du mouvement que le moins qu'il est possible de celui de la pesanteur, sur-tout lorsque cet instrument doit servir à peser des marchandises précieuses dont les moindres quantités intéressent.

La longueur des bras contribue aussi à la mobilité de la balance, par la raison que nous avons dite: c'est un moyen qui pourroit par lui-même rendre sensible le poids des plus petites portions de matière; mais un fléau de balance ne peut acquérir une plus grande longueur, qu'en devenant ou plus pesant ou plus flexible; l'un & l'autre sont à craindre: le premier, parce qu'il augmente le frottement par une plus grande pression à l'axe: le second, par des raisons que nous allons rapporter.

72 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. La seconde condition que nous
LEÇON. avons exigée pour faire une balance
 exacte, c'est que ses deux bras soient
 parfaitement égaux; or ce n'est point
 assez qu'ils le soient quand on conf-
 truit l'instrument, il faut de plus qu'ils
 ne cessent point de l'être dans l'usa-
 ge. Si le fléau n'a pas toute la roideur
 nécessaire, il se courbe sous la
 charge des bassins; & cette courbu-
 re, quelque petite qu'elle soit, di-
 minue la mobilité, & jette de l'incer-
 titude sur les effets de la balance. Car
 premièrement, si la ligne droite AB ,
Fig. 30. devient courbe comme aCh ,
 les courbures de part & d'autre se ré-
 duisent aux deux lignes droites aC ,
 Cb , & forment, avec la ligne ab ,
 un triangle auquel on peut appliquer
 ce qui a été dit de celui qui est repré-
 senté par la *Figure 29*. Secondement
 les directions des puissances af , bg ,
 ne font plus des angles droits avec
 les bras courbés du fléau. A la vérité,
 ceci n'est point un inconvénient,
 si ces angles, quoique différens de
 ce qu'ils étoient, sont toujours sem-
 blables entr'eux; & c'est pour s'en
 assurer qu'on élève une aiguille à an-
 gles

gles droits sur le milieu du fléau. Si la chasse est suspendue librement, elle prend d'elle-même une direction verticale qui fait connoître quand l'aiguille est perpendiculaire au plan de l'horizon ; & alors on juge que les deux bras de la balance font des angles semblables, avec les directions des puissances dont ils sont chargés ; mais cela suppose, comme l'on voit, ou que le fléau est demeuré droit, ou qu'il s'est courbé également de part & d'autre ; car si la partie *C b* a plié davantage que celle de l'autre part, la ligne sera plus courte que *a C*, & son inclinaison ne sera pas la même.

Cette différence d'inclinaison qu'on doit appréhender, si le fléau est flexible, & la difficulté d'en estimer le plus & le moins dans la pratique, sont des raisons sur lesquelles j'établis la troisième condition : si, par le choix de la matière, par la façon de la travailler ; par une figure ou par des dimensions bien ménagées, on construit une balance de manière que ses bras soient inflexibles, sans préjudicier aux autres qualités nécessaires, ils seront toujours dans une même

74 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

direction, & leur équilibre dépendra uniquement de l'égalité des masses dont ils seront chargés : cela ne doit s'entendre cependant que du fléau seul, & lorsqu'il n'est pas chargé de ses bassins ; car les points de suspension changent de place quand le fléau s'incline, & par cette raison l'une des puissances s'approche, & l'autre s'éloigne du point d'appui, comme on le verra par la *Fig. 31*.

Soient *A B*, les deux trous où l'on attache les crochets ou anneaux qui suspendent les bassins : tant que le fléau est horizontal, les points de suspension sont en *a* & en *b*, à égales distances du centre du mouvement, mais s'il s'incline comme *D E*, les anneaux glissent, & l'un des deux se trouve en *d*, plus loin, & l'autre en *e*, plus près qu'il n'étoit du centre de mouvement. C'est par cette raison qu'un fléau seul fait beaucoup de balancemens, & qu'il en fait moins, quand il est chargé de ses bassins, sur-tout s'il s'incline considérablement, parce qu'alors il perd entièrement son équilibre.

On peut remarquer aussi que com

me on fait ordinairement de grands trous pour donner plus de liberté aux anneaux, quoique leurs centres soient dans la même ligne que celui de l'axe, les deux bras du fléau, qui sont, à proprement parler, les deux lignes *ac*, *bc*, ne sont pas pour cela dans la même direction; & c'est une chose à laquelle on doit avoir égard dans la construction des balances, puisque cela seul peut être cause que le centre de pesanteur se trouve hors du centre de mouvement (*a*).

L'aiguille que l'on place sur le fléau pour connoître quand il est dans une direction horizontale, pese en partie sur l'un des deux bras, quand la balance s'incline, comme il paroît par la *Figure 32*; & par cette raison, toutes les fois qu'elle passe la ligne verticale d'un côté ou de l'autre, elle seroit cause d'erreur si l'on ne prévenoit cet inconvénient par un contre-

(*a*) Pour remédier à ces inconvéniens, les bons ouvriers pratiquent aujourd'hui, à chaque extrémité du fléau, une boucle divisée en deux par une traverse, dont le bord supérieur un peu concave est taillé en couteau, pour recevoir l'anneau ou l'S qui porte les cordons du bassin. Voyez la figure 31*.

 I X.
 Leçon.

poids hi , que l'on ménage dans la partie opposée sous le fléau ; mais ce contrepoids n'empêche qu'une partie du mal, s'il n'est d'une pesanteur parfaitement égale à celle de l'aiguille, ce qui n'est point facile, quand le fléau mn , l'aiguille kl , & le contrepoids hi , sont d'une même pièce, comme cela se fait ordinairement.

La balance la mieux faite pourroit manquer d'exactitude par la manière dont elle seroit mise en usage : elle pourroit, par exemple, n'être plus assez mobile, & même devenir fautive, par inégalité de longueur dans ses bras, si l'on ne proportionnoit pas à la force du fléau les masses dont on charge les bassins ; car alors une grande pression à l'axe y causeroit trop de frottement, & les bras pourroient se courber, ce qui seroit équivalent aux défauts qui naîtroient d'une mauvaise construction. On courroit risque aussi de prendre pour équilibre ce qui ne le seroit pas, si la chaise mal suspendue, ou gênée, ne prenoit pas une direction verticale ; car alors le fléau pourroit n'être pas horizontal sans qu'on s'en aperçût ; & l'on a pu

voir, par tout ce qui a été dit ci-dessus, que cette position est celle où il y a le moins à craindre d'équivoque : elle n'en est pourtant pas absolument exempte ; on peut faire une balance fautive à qui l'on conservera cette propriété d'être en équilibre avec elle-même dans une direction horizontale : un des deux bras peut être plus court, mais aussi pesant que l'autre : tant que les bassins seront vuides, l'équilibre subsistera ; mais s'ils sont chargés de quantités égales de matière, celui qui sera suspendu au plus long bras l'emportera sur l'autre ; car des poids égaux ne peuvent point être en équilibre qu'à des distances égales du point d'appui.

LA balance Romaine, ou peson qu'on a représenté par la *Fig. 33.* est encore un levier du premier genre, qui diffère de la balance ordinaire en ce qu'il met en équilibre deux puissances fort inégales entr'elles : un seul poids *P*, que l'on met à différentes distances de l'axe ou point d'appui *C*, sert à peser des quantités beaucoup plus grandes les unes que les autres, que l'on attache au crochet *R* ; par-

78 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

ce que le bras de levier CH étant gradué, & la puissance P étant connue, on sçait combien la résistance a plus de masse, par la différence qu'il y a dans les distances comprises entre l'une & l'autre, & le point d'appui.

Nous ne nous arrêterons pas beaucoup à cet instrument, parce qu'on y peut appliquer presque tout ce qui a été dit ci-dessus touchant la balance ordinaire; on remarquera seulement que le peson est d'un usage commode, en ce que n'ayant besoin que d'un seul poids qui n'est pas considérable, il est très portatif en petit; & quand on l'emploie en grand sur des masses qui sont très-pesantes, & qu'on ne peut pas diviser, on est dispensé d'avoir un grand nombre de poids difficiles à rassembler, & le point fixe en est beaucoup moins chargé; mais il faut observer aussi que cet instrument ne peut pas servir à peser exactement de petites quantités, parce qu'il n'est point assez mobile, ce qui vient principalement de ce qu'un de ses bras est fort court.

LA poulie, *Fig. 34.* est un corps rond & ordinairement plat, mobile sur son centre *C*, & dont la circonférence extérieure est creusée en gorge pour recevoir une corde ou une chaîne à laquelle on applique d'une part la puissance *E*, *F* ou *G*, & de l'autre la résistance *R*.

Il faut ou que la corde mene la poulie, ou que la poulie mene la corde, c'est pourquoi quand on a lieu de craindre que celle-ci ne glisse sur l'autre, on creuse la gorge en forme d'angle, ou bien on la garnit de pointes. *Fig. 35.*

Le corps de la poulie se meut pour l'ordinaire dans une chappe *CD*, qui soutient l'axe : on est dans l'usage de fixer les deux bouts de l'axe dans la chappe, & de faire tourner la poulie dessus, il vaudroit mieux fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout ensemble dans les trous de la chappe, parce que le mouvement se faisant sur moins de surface, il y auroit moins de frottemens ; & quand bien même les trous de la chappe s'ag-

 IX.
LEÇON.

grandiroient avec le tems, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, la poulie n'en tourneroit pas moins rondement, ce qui ne se peut faire, quand le centre de la poulie est trop ouvert.

Les expériences que nous allons rapporter feront connoître, 1°. qu'une poulie peut être employée comme un levier du premier genre, dont les bras sont égaux, & sur lequel deux puissances, dont les forces absolues sont égales, demeurent toujours en équilibre, quelques directions quelles prennent : 2°. Que les puissances qu'on y applique, agissent, d'autant plus fortement que leur distance à l'axe est plus grande : 3°. Que l'axe est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance, & que son effort se fait dans une direction parallèle aux leurs, & qui tend à leur point de concours.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA Figure 36. représente une machine composée de deux piliers éle-

Vés & fixés sur une tablette plus longue que large ; l'un porte une poulie à jour, de métal, & l'autre un levier en équerre dont les bras sont égaux, & qui tourne très-librement sur son clou & dans le même plan que la poulie.

On fait passer d'abord sur la poulie un cordon aux bouts duquel on attache deux poids égaux P , R , qu'on laisse agir dans des directions parallèles & verticales comme AP & BR .

Ensuite on transporte le poids R au cordon qui tient au bras D du levier angulaire, & l'on place le cordon de la poulie, comme PA , FE .

Enfin le poids R étant remis à sa première place, & le levier angulaire étant tourné de manière que D soit en d , & E en e , on attache le poids P au bout d'un cordon dp , & le cordon de la poulie qui le portoit, au bras e du levier tournant.

E F F E T S.

Les deux poids P , R , sont toujours en équilibre, non-seulement quand ils sont tous deux dans des directions parallèles & verticales, mais encore

82 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

lorsque l'un des deux agit horizontalement sur la poulie, soit que la corde embrasse les trois quarts de la poulie, soit qu'elle n'en embrasse qu'un quart.

EXPLICATIONS.

La poulie *AFB*, peut être regardée comme un assemblage de leviers du premier genre, dont les bras sont égaux, & qui ont un point d'appui commun au centre *C* où est l'axe. Lorsque le cordon est vertical de part & d'autre, s'il ne peut pas glisser sur la poulie, il doit avoir le même effet que s'il étoit de deux pièces, dont une fût attachée en *A*, & l'autre en *B*. Il y a donc équilibre entre les deux poids *P, R*, parce qu'ils agissent à des distances égales du point d'appui, & que chacun d'eux fait son effort dans une direction perpendiculaire au bras du levier *AC*, ou *BC*.

L'équilibre subsiste par les mêmes raisons dans les deux autres cas; les rayons *GC* & *FC* sont égaux aux deux premiers, *AC*, *BC*; & les directions *EF* & *EG* leur sont perpendiculaires comme *RB* l'est à *BC*: toute la dif-

férence qu'il y a , c'est que les deux puissances agissent d'abord par un levier droit AB , & qu'ensuite elles sont comme appliquées à des leviers angulaires ACG , ou ACF ; ce qui est la même chose , quant aux effets , comme nous l'avons fait voir ci-dessus. *

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA Figure 37. représente une poulie composée de plusieurs plans circulaires qui laissent entr'eux des épaisseurs , & dont les circonférences sont creusées en gorge ; les diamètres , & par conséquent les rayons de ces cercles , sont entr'eux comme les nombres 1, 2 & 3. Sur la plus petite des trois circonférences on a placé une corde à laquelle sont suspendus deux poids de 6 onces chacun ; & l'on a fixé en a & en b deux autres cordes qui embrassent les deux autres circonférences , & qui pendent perpendiculairement aux points 2 & 3.

84 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.

LEÇON.

E F F E T S.

Quand les deux poids sont en *H* & en *I*, il y a équilibre entre 6 onces d'une part & 6 onces de l'autre. Si l'on ôte celui qui est en *H*, un autre poids de 3 onces fait la même chose en *K*; & quand celui-ci est ôté, 2 onces placées en *L* soutiennent le poids de 6 onces en *I*.

E X P L I C A T I O N.

Le rayon *C 1* étant égal à *C d*, il y a équilibre entre deux poids égaux, parce que leurs efforts se font à égales distances du point d'appui. Mais *C 2*, étant double de *C d*, l'équilibre doit naître entre deux masses qui sont en raison réciproque de ces deux longueurs; ainsi 3 onces en soutiennent 6; & par la même raison 2 onces suffisent à une distance qui égale trois fois *C d*.

XII. EXPERIENCE.

P R E P A R A T I O N.

La poulie *G H*, Fig. 38. est suspendue par son axe dans deux petites

boucles de métal qui sont soutenues de part & d'autre par des cordons qui passent sur deux petites poulies, & qui se réunissent à deux poids égaux B, D , de sorte que la grande poulie a deux mouvemens ; car elle tourne sur son axe à l'ordinaire, & son axe peut descendre avec elle d'une certaine quantité, lorsque la résistance des poids B, D , vient à céder.

E F F E T S.

Ces deux poids cèdent, & la poulie tombe d'environ deux pouces, lorsque deux autres poids $E F$, qui pèsent ensemble & avec la poulie un peu plus que B, D , se trouvent dans des directions parallèles & verticales : & la poulie remonte en partie, lorsqu'ayant ôté le poids F , on retient avec la main le cordon dans la direction AC .

E X P L I C A T I O N S.

Quand les deux poids $E F$, sont suspendus parallèlement, leurs efforts sont perpendiculaires à G, H , qu'on doit regarder comme les extrémités d'un levier droit ; & nous avons fait

86 LEÇONS DE PHYSIQUE

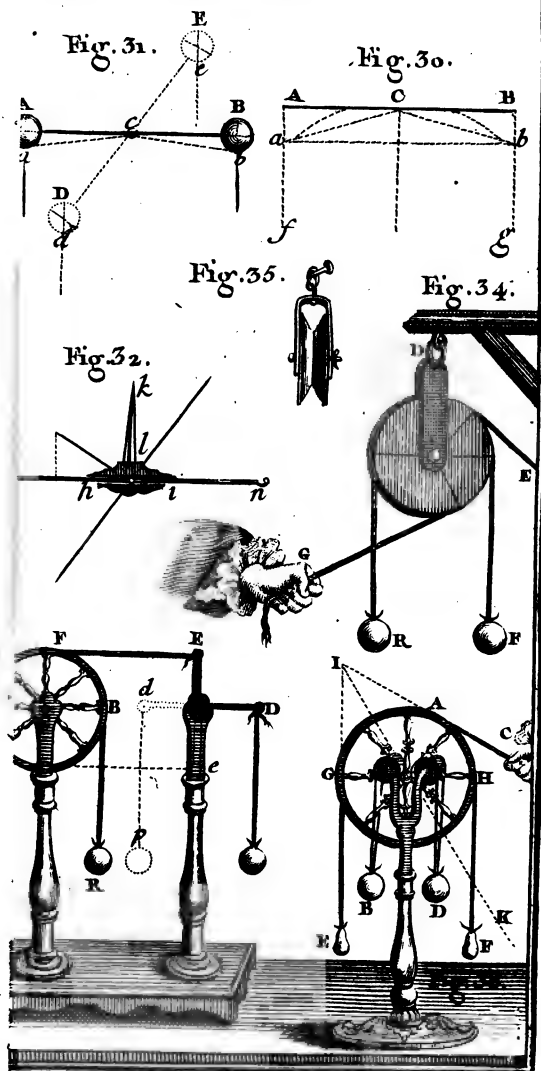
IX.

LEÇON.

voir qu'en pareil cas le point d'appui porte la somme totale des deux masses ; l'axe qui le représente , souffre donc de haut en-bas un effort qui égale les deux poids E , F , & celui de la poulie pris ensemble ; les deux autres B , D , qui s'opposent à sa chute , & qui représentent sa résistance de bas en haut , sont un peu plus faibles que cette somme ; c'est pourquoi la poulie descend. Mais elle se relève , quand un des côtés de la corde cesse d'être parallèle à l'autre ; car alors l'effort qu'il soutient se fait selon la ligne IK , & ne porte plus qu'obliquement contre les puissances B , D .

APPLICATIONS.

LA poulie employée comme levier du premier genre , est un moyen simple & commode , & dont on se sert fréquemment pour changer la direction du mouvement. Car de quelque manière que se présente une puissance dans le plan où est la poulie , elle se trouve toujours perpendiculaire à quelqu'un des rayons , ce qui lui conserve toute son intensité. Ainsi quoiqu'un cheval ou un boeuf





exerce naturellement sa force dans une ligne horizontale, on peut néanmoins par des renvois de poulies appliquer ses efforts à des résistances qui sont dirigées verticalement ; quoiqu'un poids tende toujours à tomber, il peut être élevé, si par le moyen d'une poulie on le met en opposition avec un plus fort.

Les leviers coudés ou angulaires, comme nous l'avons déjà fait remarquer, changent bien aussi les directions ; mais la poulie a cet avantage sur eux qu'elle rend le mouvement continu, & qu'elle conserve les puissances toujours dans les mêmes directions qu'on leur a fait prendre d'abord. Cette différence s'apperçoit aisément par la seule inspection des *Figures 22. & 36.*

COMME une poulie qui a plusieurs gorges concentriques, * peut servir à rendre égales des forces qui sont différentes entr'elles, lorsque les diamètres de ces gorges sont dans des rapports convenables ; on peut conséquemment entretenir l'équilibre, ou bien un rapport constant entre deux puissances dont les forces relatives

 I X.
LEÇON.

changent continuellement. Car au lieu de plusieurs gorges concentriques, on peut n'en faire qu'une qui ne rentre pas sur elle-même, mais qui prenant la d'une forme spirale, s'éloigne peu-à-peu du centre, suivant la proportion dont l'une des deux forces s'affoiblit.

Une des plus heureuses applications qu'on ait faites de cette conséquence, c'est d'avoir rendu uniforme l'action des ressorts qui animent les montres & les pendules. Nous avons dit dans la seconde Le-

* Tome I.
p. 135. Fig.
10.

çon *, que ces ressorts comme tous les autres, agissent toujours de plus en plus foiblement, à mesure qu'ils se détendent; le rouage qu'ils mettent en mouvement, leur opposant toujours la même résistance, il est évident que la montre ou la pendule iroit toujours en retardant, pendant tout le tems que le ressort mettroit à se développer, si l'on n'avoit pas trouvé un moyen de prévenir cet inconvénient. Au lieu d'envelopper sur un cylindre la chaîne qui sert à tendre le ressort, on la reçoit sur une fusée, dont la figure * est telle, que les tours vont toujours en diminuant

de

de diamètre, comme la tension du ressort augmente. Tout l'art consiste à trouver ce rapport ; car la théorie ne peut servir qu'à en approcher, les Horlogers sont toujours obligés d'en venir à des épreuves, parce que les ressorts ne sont jamais régulièrement flexibles & élastiques dans toutes les parties de leur étendue.

QUAND on sçait de combien l'axe d'une poulie doit être chargé, on est en état de lui donner les dimensions les plus convenables, ce qu'on doit avoir principalement en vue, c'est premièrement, qu'il soit assez fort ; secondement, qu'il n'ait que la grosseur nécessaire, afin d'éviter les frottemens d'une trop grande surface. Mais comme la chappe d'une poulie est toujours attachée à quelque point fixe, il faut aussi faire attention que ce qui la soutient soit assez stable pour résister aux efforts qui se font sur l'axe : il faut même avoir égard aux différentes directions que peuvent prendre ces efforts ; car tel appui résisteroit dans un cas, qui céderoit dans l'autre.

ON peut aussi considérer la poulie

90 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

simple comme un levier du second genre; elle en a effectivement les propriétés, lorsque la résistance R , *Fig. 40.* étant attachée à la chappe, un des bouts de la corde tient à un point fixe a , ou g , pendant que l'autre est tiré ou soutenu par la puissance P , ou d . Et alors ou les directions de la puissance & de la résistance sont parallèles entr'elles comme cI , dE , ou elles sont inclinées l'une à l'autre comme Pk , ck .

Dans le premier cas, la puissance ne porte que la moitié du poids de la résistance; dans le second, l'effort de la puissance diminue, & le point d'appui se dirige au point de concours des directions de la puissance & de la résistance, c'est-à-dire, en k .

XIII. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

A , B , *Fig. 41.* sont deux petites broches longues de trois pouces, qui glissent dans deux rainures à jour, pratiquées aux deux bras du support G ; la première sert de point fixe à un cordon qui embrasse une poulie char-

EXPÉRIMENTALE. 91
 gée d'un poids D , & dont l'autre
 bout s'attache au bras d'une balance
 dont on a ôté un bassin, & que l'on a
 mise en équilibre avec elle-même,
 par le moyen d'un petit poids attaché
 en H ; & cette balance est suspendue
 à l'autre broche B .

IX.
LEÇON.

On met d'abord les deux petites
 broches à telle distance l'une de l'autre,
 que les deux bouts de la corde
 venant de la poulie soient parallèles
 entr'eux.

Ensuite en écartant les deux broches,
 on fait prendre aux deux bouts
 de la corde, des directions inclinées
 en sens contraires; & dans l'un &
 dans l'autre cas on charge le bassin
 de la balance, autant qu'il le faut
 pour tenir le fléau dans une situation
 horizontale.

E F F E T S.

La poulie & son poids D , pesant
 ensemble 8 onces, il n'en faut que 4
 dans le bassin de la balance pour faire
 équilibre, lorsque les deux bouts de
 la corde sont parallèles entr'eux, &
 dans une direction verticale; mais
 lorsqu'ils sont inclinés comme $P l$,

H ij

92 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

gm, de la Fig. 40. il faut charger davantage le bassin de la balance pour le tenir en équilibre.

EXPLICATIONS.

En considérant le bras *H* de la balance comme la puissance qui soutient la poulie & sa charge, après que l'autre bout de la corde est fixé en *A*, le poids que l'on met dans le bassin exprime sans équivoque l'effort qui se fait sur la puissance, lorsque tout est en équilibre. Or, on voit par les résultats la preuve de ce que nous avons avancé ci-dessus, savoir, 1°. que les directions des forces opposées étant parallèles, la puissance ne soutient que la moitié de l'effort de la résistance; car dans le premier cas où les deux bouts de la corde sont parallèles entr'eux, *ci**, direction de la résistance, est aussi parallèle à *d e* qui est celle de la puissance, & 4 onces dans le bassin de la balance, en soutiennent 8 en *D*. 2°. Que les directions des forces opposées n'étant plus parallèles, la puissance n'est plus égale à la moitié de

* Fig. 40.

l'effort de la résistance, & que la direction du point d'appui passe au point de concours des deux autres directions; car dans le second cas de l'expérience, où la puissance agit obliquement comme Pk , 4 onces dans le bassin de la balance ne suffisent plus pour faire équilibre, & l'angle gkc , est égal à celui de l'autre part Pkc .

Quand les deux bouts de la corde sont parallèles, comme ab , de , on peut les considérer comme étant attachés aux deux extrémités du diamètre be ; lorsqu'ils sont obliques, comme Pl , gm , on peut les concevoir comme tenant aux points de tangence, l , m : mais les deux lignes eb , ml , sont deux leviers du second genre partagés l'un & l'autre en deux bras égaux par la direction ci de la résistance; le cordon suspendu en a , ou en g , transportant le point fixe en b ou en m , on voit tout d'un coup, que la puissance appliquée en e ou en l , agit toujours à une distance eb , ou lm , du point d'appui, double de celle de la résistance placée en c ou en i . Or suivant ce qui a été enseigné touchant le levier, 4 onces à une

94 LEÇONS DE PHŶSIQUE

distance double du point d'appui, sont capables d'en soutenir 8.

IX.

LEÇON.

Mais quand la puissance se dirige obliquement, elle ne suffit plus aux mêmes effets qu'auparavant ; parce que la direction perpendiculaire au bras du levier, est, comme nous l'avons fait voir, la plus avantageuse de toutes, & que par conséquent toutes les autres le sont moins. Il est vrai que Pl , est perpendiculaire au rayon lc ; mais ce rayon par qui l'on peut concevoir que la puissance agit, est oblique à ci , direction de la résistance, ce qui revient au même.

Enfin le point d'appui dirige son effort par gm , quand la puissance s'incline comme Pl ; parce que dans l'instant de cette inclinaison la poulie n'étant point soutenue du côté de la puissance, elle roule jusqu'à ce qu'elle le soit également de part & d'autre, ce qui n'arrive que quand l'angle gkc est égal à celui de l'autre part Pkc .

APPLICATIONS.

Puisque quand on a fixé la corde de la poulie en A , Fig. 41. il ne faut

plus en *H*, qu'une force de 4 onces pour en soutenir une autre de 8 en *D*; & qu'une force de 4 onces est toujours la même, soit qu'elle agisse de haut en bas, soit que son effort se fasse de bas en haut par le moyen d'une balance; on peut donc substituer au fléau *H K*, une autre poulie *L* ou *l*, *Fig. 42.* qui fera comme lui l'office d'un levier du premier genre, & il n'y aura jamais en *M* ou en *m*, qu'un effort de 4 onces à soutenir.

Si, pour résister à cet effort de 4 onces, on prolonge la corde de *M* en *N*, *Fig. 43.* & qu'on la fasse passer sous une troisième poulie *N O*; celle-ci semblable à la première, deviendra un levier du second genre, où la puissance *O*, une fois plus loin du point d'appui *N*, que la résistance qui charge l'axe, n'aura besoin que d'une force absolue qui soit moitié de la sienne; il ne faudra donc plus qu'un effort de 2 onces de bas en haut, & s'il est plus commode de tirer de haut en bas, une quatrième poulie donnera, comme la deuxième, cette direction.

96 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON. La seconde & la quatrième poulies qui servent de renvoi pour changer la direction, peuvent être placées dans une même chappe; & si cette chappe est fixée par en haut, sa partie inférieure pourra elle-même servir de point fixe au premier bout de la corde que nous avons supposé être attachée en *F*.

Cette manière de placer ainsi dans une même chappe plusieurs poulies ou parallèlement entr'elles, ou les unes au-dessus des autres, est connue depuis long-tems sous le nom de *moufles*, ou poulies *mouflées*. Ces machines sont fort en usage pour élever de grands fardeaux; & elles sont commodés en ce qu'elles occupent peu de place, & que l'on peut, sans embarras, augmenter à son gré l'action d'une même puissance; mais cela ne se fait, comme dans toutes les autres machines, qu'aux dépens d'une plus grande vitesse dans la puissance: car si la poulie qui est chargée de la résistance, *Fig. 40.* s'élève jusqu'à la ligne *d a*, il est évident que la puissance qui produit cet effet, parcourt deux fois autant de chemin dans le même

même tems , puisque les deux parties ab , de , de la corde par laquelle elle agit , doivent se trouver au-dessus de la ligne da , quand le centre de la poulie y sera parvenu ; or ces deux longueurs ab , de , égalent deux fois la hauteur ch .

L'avantage que les poulies mouflées donnent à la puissance , ne peut pas être augmenté à l'infini ; quand une fois les mouflés contiennent une certaine quantité de poulies, les frottemens inévitables causent ensuite un déchet dans le produit des forces motrices , qui surpasse ce qu'on pourroit gagner en augmentant encore le nombre des poulies.

On doit aussi disposer les mouflés de façon que les directions des cordes se trouvent parallèles le plus qu'il est possible ; car nous avons fait voir que les puissances qui agissent obliquement , en ont moins de forces , toutes choses égales d'ailleurs.

DES ROUES.

UNE roue est , comme la poulie , un corps rond , ordinairement plat , & mobile sur son centre ; la circonféren-

IX.
LEÇON.

ce, au lieu d'être creusée en gorge, reçoit le mouvement qu'on lui communique, ou transmet celui qu'elle a reçu, par son frottement, ou par certaines parties saillantes qu'on y réserve ou qu'on y ajoute, & que l'on nomme *dents*, *chevilles* ou *vannes*, suivant la forme & la grandeur qu'elles ont.

Les roues se meuvent de deux façons, ou elles tournent toujours dans le même lieu, avec un axe qui est attaché à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui servent d'appui, comme on voit dans les horloges, tournebroches, moulins, &c. ou bien, roulant sur leur circonférence, elles portent leur centre, & l'axe qui le traverse, dans une direction parallèle au plan ou au terrain qu'elles parcourent : telles sont celles que l'on met aux carrosses & aux autres voitures.

Les roues qui n'ont qu'une sorte de mouvement, dont les axes ne font que tourner, doivent être considérées comme des leviers du premier genre, qui servent de même que la poulie, à changer la direction du mouvement, à le transmettre au loin,

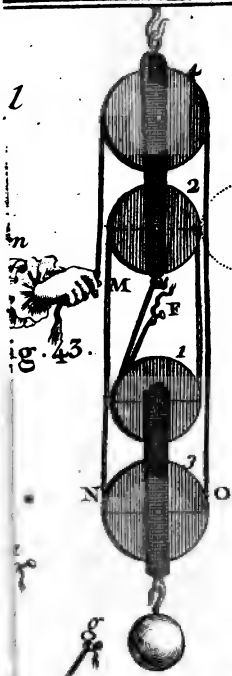


Fig. 44.

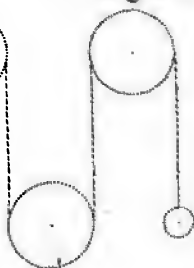
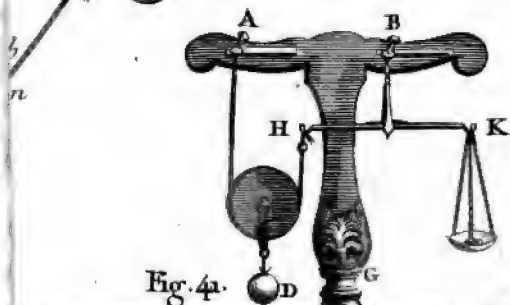
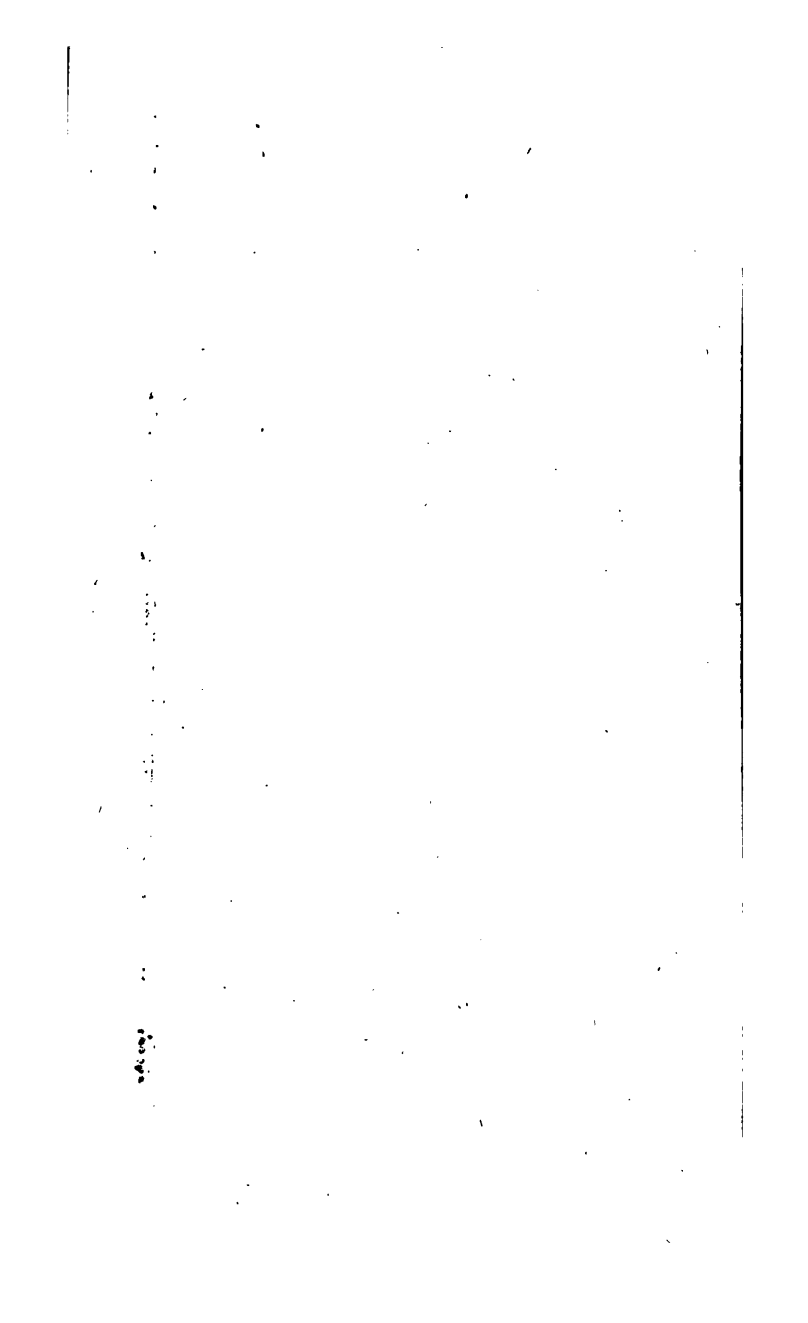


Fig. 39.





à rendre égales entre elles des puissances fort différentes l'une de l'autre, à augmenter la vitesse dans l'une des deux.

1°. Les deux dents *A, B, Fig. 44.* peuvent être prises pour les extrémités d'un levier partagé en deux bras égaux par le point fixe ou centre de mouvement *C*; & si l'on place sur le même axe une autre roue une fois plus petite, celle des deux puissances qui agit par la dent *a*, étant une fois plus près du centre que l'autre, devient par cette raison une fois plus foible. On peut donc par ce moyen rendre égale la force d'une livre à celle de deux.

2°. On auroit encore le même effet, si la petite roue, au lieu d'être immédiatement appliquée sur la grande, étoit à l'autre bout de l'axe; de cette manière le mouvement de la grande roue *H, Fig. 45.* se peut transmettre à une grande distance par la petite roue ou pignon *D*, qui tient au même arbre.

3°. Si ce dernier pignon engrène une autre roue *E*, qui ait des dents parallèles à son axe, le mouvement

IX. qui lui sera transmis changera de direction , & deviendra horizontal de
LEÇON. vertical qu'il étoit.

4°. Enfin si la roue *E* a quatre fois plus de diamètre que le pignon *D*, comme celui-ci ne peut se mouvoir sans la roue verticale *H*, il faut que l'une & l'autre fassent quatre tours, pour faire tourner une fois la roue horizontale *E* : & réciproquement si l'on tourne une fois celle-ci, on fera tourner quatre fois le pignon, l'arbre & la roue verticale. Si l'on suppose donc à chacune des deux grandes roues une manivelle *F*, ou *G*, menée par un homme, qui lui fasse faire un tour dans une seconde ; le mouvement aura quatre fois plus de vitesse, lorsqu'il fera tourner la manivelle *F* ; que quand on appliquera la même puissance en *G*.

Quant aux roues qui ont deux sortes de mouvemens, comme celles des voitures, dont le centre se porte en avant tandis que les autres parties tournent autour de lui ; on doit les regarder comme un levier du second ou du troisième genre, qui se répète autant de fois qu'on peut imaginer

de points à la circonférence. Car chacun de ces points est l'extrémité d'un rayon appuyé d'une part sur le terrain, & dont l'autre bout chargé de l'essieu, qui porte la voiture, est en même-tems tiré par la puissance qui la mene; de sorte que si le plan étoit inflexible, parfaitement uni & de niveau, si la circonférence des roues étoit bien ronde & sans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axeaux moyeux, & si la direction de la puissance étoit toujours appliquée parallèlement au plan, une petite force meneroit une charrette très-pesante. Car la résistance qui vient de son poids, repose entièrement sur le terrain par le rayon *CM*, *Fig. 46.* ou par un semblable qui lui succède l'instant d'après.

Mais de toutes les conditions que nous venons de supposer, & dont le concours seroit nécessaire pour produire un tel effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'usage ordinaire.

Les roues des charrettes sont grossièrement arrondies & garnies de gros clous; les chemins sont inégaux par eux-mêmes, ou ils le de-

 I X.
LEÇON.

viennent par le poids de la voiture qui les enfonce; ces inégalités, soit des roues, soit du terrain, font appuyer la roue par un rayon CQ ou CN , oblique à la direction de la puissance PC , ou à celle de la résistance CM ; le poids qui réside en C pèse donc en partie contre la puissance, qui ne peut le faire avancer, qu'en le faisant monter autant que le point Q ou N est au-dessus de M .

D'ailleurs, quand les circonscérences rouleront sur des surfaces parfaitement unies & droites; il se fait indispensablement de l'essieu aux moyeux, un frottement qui est de nature à être toujours considérable, comme nous l'avons remarqué dans

* Tome I. p. la troisième Leçon *.

233.

Les creux & les hauteurs qui se rencontrent dans les chemins, changent aussi la direction de la puissance. Un cheval placé plus haut ou plus bas, par la disposition du terrain, au lieu de faire son effort par la ligne CP , Fig. 46. parallèle à la portion du plan qui porte actuellement les roues, le fait assez souvent par CS , ou CR , c'est-à-dire, obliquement à la direc-

tion *CM* de la résistance, & par conséquent avec désavantage.

IX.
LEÇON.

Mais s'il n'est pas possible de se mettre absolument au-dessus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues; car il est certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes, dans les inégalités du terrain, comme on le peut voir par la *Fig. 47.* & parce que la circonférence d'une grande roue mesure en roulant plus de chemin que celle d'une petite; elle tourne moins vite, ou elle fait un plus petit nombre de tours pour parcourir un espace donné; ce qui épargne une partie des frottemens.

Nous entendons par grandes roues celles qui ont cinq ou six pieds de diamètre; dans cette grandeur, elles ont encore l'avantage d'avoir leur centre à peu-près à la hauteur du trait d'un cheval, ce qui met son effort dans une direction perpendiculaire au rayon qui pose verticalement sur le terrain; c'est-à-dire, dans la direction la plus favorable, au moins dans les cas les plus ordinaires.

IX. *DU TREUIL, ou TOUR : & du*
LEÇON. *VINDAS ou CABESTAN.*

L'INSPECTION seule des *Figures 48. & 49.* suffit pour faire connoître que ces deux machines , à proprement parler , sont la même à qui l'on donne différens noms , selon les différentes positions dans lesquelles on l'emploie. Quand le rouleau ou cylindre *AB* , qui reçoit la corde , & qui est la partie principale , se trouve placé horizontalement , la machine se nomme *Tour* ou *Treuil* ; elle s'appelle *Vindas* ou *Cabestan* , quand ce même rouleau est vertical.

Ces deux machines sont employées fréquemment aux puits , aux carrières , dans les bâtimens , pour élever les pierres & autres matériaux , sur les vaisseaux & dans les ports , pour lever les ancres , &c. Et quand on y fait attention , on les retrouve en petit , dans une infinité d'autres endroits où elles ne sont différentes que par la façon , ou par la matière dont elles sont faites. Les *tambours* , les *fusées* , les *bobines* sur lesquelles on

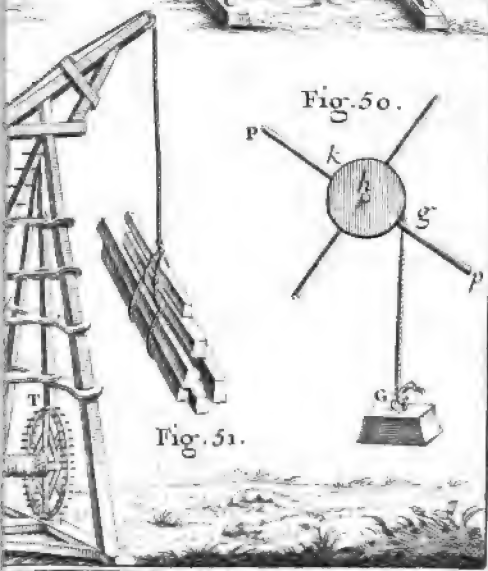
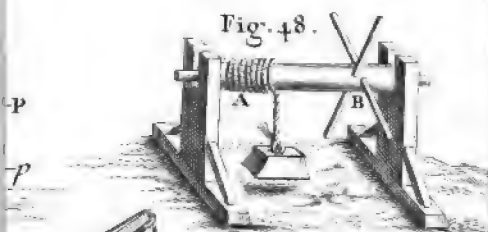
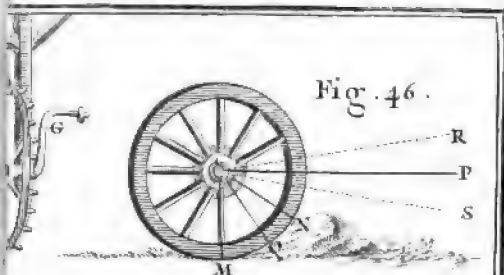
enveloppe les cordes ou les chaînes , pour remonter les poids ou les ressorts des horloges , des pendules , des montres mêmes , &c. doivent être regardés comme autant de petits treuils & de petits cabestans.

Ce que nous avons dit des poulies & des roues , comprend ce qu'il y a de plus important à sçavoir touchant le treuil : car si l'on conçoit l'arbre tournant comme une suite de poulies enfilées sur le même axe , si l'on considère les leviers en croix , qui servent à le mettre en mouvement , comme des rayons prolongés , de la première de ces poulies ; enfin , si l'on fait attention que quand l'axe tourne , tout ce qui fait corps avec lui participe à son mouvement ; on verra tout d'un coup que cette machine fait l'office d'un levier sans fin , du premier ou du second genre , qui a deux bras inégaux à compter du point fixe h , sçavoir , le demi-diamètre du cylindre gh , Fig. 50. par lequel agit la résistance , & un autre rayon hK du même cylindre prolongé par un des leviers qui forment la croix , & par lequel la puissance fait son effort.

IX.
LEÇON.

La puissance P ou p est donc à la résistance G , comme la longueur $P h$, ou $p h$, est à $g h$, ou $K h$; c'est-à-dire, que si chacun des leviers croisés, à compter depuis le centre du cylindre, est quatre fois plus long que le demi-diamètre $g h$, un poids de 400 livres, attaché à la corde $G g$, peut être soutenu par un effort équivalent à 100 livres, qui résisteroit en P .

Mais si l'on n'avoit qu'un effort de 100 à employer de cette manière contre 400; lorsque le levier P viendroit à tourner, la puissance prendroit une direction désavantageuse & ne suffiroit plus, comme on l'a expliqué en parlant des manivelles; & d'ailleurs, si ces leviers croisés étoient fort longs, un homme ne pourroit pas facilement quitter l'un pour reprendre l'autre; c'est pourquoi aux carrières, aux minières, & dans les grues où le treuil est employé en grand, les leviers croisés aboutissent à une circonférence, & forment une grande roue que l'on garnit de chevilles, comme T , T . *Fig. 51*. Par ce moyen la force des hommes, toujours appliquée à une même distance du





centre de mouvement, & perpendiculairement au levier, agit uniformément, & plusieurs peuvent travailler en même tems par un même rayon sans s'incommoder réciproquement.

12
Leq

Si la corde, après avoir enveloppé le rouleau dans toute sa longueur, retournoit sur elle-même pour l'envelopper une seconde ou une troisième fois, comme il arrive quand on se sert du treuil pour élever des fardeaux à une grande hauteur; il faut avoir égard à l'augmentation du diamètre du rouleau; car puisque son rayon est le levier de la résistance, quand le diamètre de la corde est ajouté une ou deux fois à la longueur de ce rayon, l'effort du fardeau se trouve plus loin de l'axe ou point d'appui, ce qui l'augmente d'autant: mais aussi, par une sorte de compensation, la partie de la corde qui est enveloppée sur l'arbre, cesse de peser contre la puissance.



IX.
LEÇON.

II. SECTION.

Du plan incliné.

EN traitant de la pesanteur dans la sixième leçon *, nous avons donné la définition du plan incliné, & nous avons fait connoître comment & dans quels rapports il retarde la chute des corps graves. Nous supposerons donc comme une vérité prouvée, qu'une masse qui roule ou qui glisse de haut en bas le long d'un plan incliné, est en partie soutenue par ce plan, & qu'elle l'est d'autant plus, que l'inclinaison est plus grande.

* Tome II.
pag. 177 &
suiv.

Il suit de ce principe, qu'une puissance appliquée à soutenir un corps sur un plan incliné, n'a pas besoin d'être égale au poids de ce corps : & comme un poids n'est autre chose qu'une force dont la direction est déterminée, on peut dire plus généralement, qu'une puissance quelconque, qui est obligée de suivre un plan incliné à sa direction, peut être égale ou vaincue par une autre puissance plus foible.

Mais puisqu'un plan fait obstacle à la chute d'un corps, parce qu'il est oblique à la direction de la pesanteur, on doit présumer qu'il affoiblira de même toute autre puissance dont la direction sera oblique à la sienne; & en effet l'expérience prouve, 1°: Qu'une petite force en soutient une plus grande sur un plan incliné; 2°: Qu'une petite force employée contre une plus grande, n'agit jamais avec autant d'avantage, que quand sa direction est parallèle au plan incliné, par lequel elle fait son effort.

IX
LEÇ

I. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA machine qui est représentée par la Fig. premiere, est composée d'une tablette *AC*, longue d'environ 15, pouces & large de trois ou quatre; elle est jointe par une charnière en *C* à une autre tablette au bout de laquelle est fixé un quart-de-cercle qui sert à régler & à fixer son inclinaison: *D* est un cylindre de bois dur qui pèse 5 ou 6 onces, & qui tourne très-librement sur son axe, dans une espé-

 IX.
 LEÇON.

ce de chappe de métal, soutenue par deux cordons qui passent sur deux poulies de renvoi e, e , & au bout desquels sont attachés deux poids d, d , de deux onces chacun. Les deux petites poulies sont portées par une pièce de métal, que l'on peut placer à différents endroits sur le quart-de-cercle.

On incline le plan AC à peu-près de 45 degrés; on place le cylindre ou rouleau D en sa partie inférieure, & l'on met les poulies de renvoi de façon que les cordons qui tirent le rouleau soient parallèles au plan incliné, & on laisse agir les deux poids d, d .

Ensuite on répète la même chose, excepté seulement qu'on place les poulies de renvoi en E ou en F , afin que leurs directions se trouvent au-dessus & au-dessous du plan incliné, & faisant un angle avec lui, comme ADF , ou ADE .

E F F E T S.

Les cordons étant dans une direction parallèle au plan incliné, les deux poids qui pèsent ensemble 4 onces, commencent à enlever le rouleau qui en pèse environ 6. Mais

EXPERIMENTALE. III

lorsqu'on a placé les poulies en *F* & en *E*, ces mêmes poids ne suffisent plus pour faire monter, ni même pour arrêter le rouleau. Le même effet arrive, si, au lieu de changer les poulies de place, on incline plus ou moins le plan *AC*.

IX.
Leçon.

EXPLICATIONS.

Le rouleau de notre expérience est un corps grave qui est naturellement déterminé à se mouvoir de haut-en-bas, & perpendiculairement au plan de l'horizon : deux causes concourent à l'arrêter ; la première est la résistance du plan incliné sur lequel il pose ; la seconde est l'effort des deux poids *d*, *d*. Si cette dernière cause agissoit seule, il faudroit que la somme des deux poids fût égale à la masse du rouleau : on a vû par le résultat de l'expérience, que 4 onces en soutiennent 5 ou 6, par le moyen du plan incliné ; il est donc indubitable qu'en pareil cas une petite force en peut soutenir une plus grande.

Pour rendre raison de cet effet, supposons que la ligne *ac*, Fig. 2.

soit le plan incliné, que le cercle $d f g$ est la base du cylindre ou rouleau, que tout le poids de ce corps réside au centre k , & qu'il est en équilibre avec une puissance dont la direction est $k p$, pendant que son poids le sollicite à tomber par la ligne $k h$, perpendiculaire à l'horizon $b c$. Voilà donc deux forces appliquées à l'extrémité k , d'un même rayon ou levier, dont l'autre bout d est appuyé sur le plan; mais l'une des deux fait avec ce levier un angle droit $p k d$, elle agit dans la direction la plus avantageuse qu'elle puisse avoir; l'autre au contraire agit par une ligne inclinée à ce même levier, & fait avec lui un angle aigu $d k h$, ce qui le réduit à la longueur $d e$, selon ce que nous avons enseigné dans la section précédente; ainsi comme $d e$ est plus court que $d k$, on peut dire que le poids du rouleau le cède d'autant à la puissance p : & pour ramener ceci à une règle générale, on doit faire attention que le triangle $d k e$ est semblable à celui qui représente le plan incliné $a b c$, & que les deux lignes $d e$, $d k$, par conséquent ont le même

me rapport entr'elles que ab & ac ; d'où il suit cette proposition , que le poids du mobile est à la puissance qui le soutient , comme la hauteur du plan incliné est à sa longueur : c'est-à-dire , que si la ligne ab , hauteur du plan , est à la ligne ac , qui exprime sa longueur , dans le rapport de 2 à 3 , avec un effort de 2 onces on peut soutenir un poids de 3 onces , placé sur un plan incliné.

Mais comme la puissance n'a cet avantage sur la résistance qu'en conséquence d'une direction plus favorable à son effort , elle doit en avoir moins lorsqu'elle cesse d'agir parallèlement au plan ; car dans toute autre position , elle est inclinée au rayon dk . Le plan incliné n'est favorable à la puissance , que parce qu'il soutient en partie le poids du mobile. Quand cette puissance agit au-dessus du plan comme ki , elle ne laisse pas porter au plan tout ce qu'il pourroit porter ; & si elle s'en éloigne jusqu'à tirer directement le poids suivant la ligne kl , il est évident qu'alors le plan n'est plus chargé de rien , & que l'effort de la puissance doit être égal au

IX. poids du mobile pour le soutenir.

LEÇON. Lorsqu'elle agit au-dessous du plan ,
comme $k m$, une partie de sa force
est employée en pure perte contre
le plan ; & l'on conçoit bien que si
elle s'abaissoit jusqu'à prendre la
direction $k n$, la résistance du plan
devenant directe , l'empêcheroit d'a-
voir aucune action contre le poids
du mobile.

APPLICATIONS.

L'EXPÉRIENCE que nous venons
d'expliquer fait voir , non-seulement
qu'on peut tirer avantage des plans
inclinés pour vaincre des résistances ,
ou pour soutenir de grands poids avec
des forces moins grandes qu'il n'en
faudroit employer pour les arrêter ,
ou pour les élever dans une direction
verticale ; elle fait connoître aussi ,
qu'un mobile dont le centre de pe-
santeur n'est point soutenu , doit tou-
jours tomber , quoiqu'il pose d'ail-
leurs. Car il ne suffit pas que le rouleau
porte au point d sur le plan * ; sans
l'effort de la puissance p il rouleroit
de haut en bas , parce que le centre
de sa pesanteur qui agit dans la di-

* Fig. 2.

EXPERIMENTALE. 115
rection kh n'est point soutenu.

IX.
LEÇON.

C'est ainsi qu'on peut rendre raison d'une infinité d'effets dont on est surpris, & qu'on a peine à expliquer, quand on ignore, ou qu'on ne fait point attention à ce principe. La *Fig. 3.* par exemple, représente un solide A composé de deux cônes qui sont joints par leurs bases; on pose ce corps sur deux règles BC , DC , qui font ensemble un angle aigu, & qui sont plus élevées par l'autre bout B , D , de sorte qu'il est comme sur un plan incliné; lorsqu'on le laisse libre, il monte en roulant, & suit en apparence une route toute contraire à celle que tous les corps graves ont coutume de prendre.

Cet effet vient de ce que le centre de gravité du corps A n'est point soutenu; car lorsqu'il est placé en C , il y resteroit en repos, s'il portoit sur un rayon ae , perpendiculaire au plan horizontal ef ; *Fig. 4.* mais comme les deux règles font un angle, elles touchent ce double cône par des points qui sont plus reculés comme g : ainsi le centre de gravité qui est en a porte à faux, & le corps entier com-

I X.
LEÇON.

mence à rouler de *C* vers *B*. A mesure qu'il s'avance dans cette direction, les deux règles étant de plus en plus écartées, le mobile descend d'une quantité égale au demi-diamètre *ac*, plus grande que la hauteur *f B*, à laquelle il semble s'être élevé; & le point *a*, par rapport à l'horizon, descend réellement de la quantité *h B*.

Si les corps tombent toutes les fois que le centre de gravité n'est point soutenu, il est vrai de dire aussi qu'ils ne tombent jamais, tant que ce même centre est appuyé; c'est pour cela qu'on voit tant d'édifices, qui ont perdu leur a-plomb & qui ne laissent pas que de se soutenir, & certains ouvrages bâtis en saillie, qui ne manquent point pour cela de la solidité qu'il leur convient d'avoir.

On seroit peut-être tenté de croire que c'est pour le bon air qu'un danseur de corde gesticule presque toujours des bras; mais la vraie raison, c'est que comme il marche sur une espèce de plan très-moblie, qui s'incline continuellement, & de différentes manières sous ses pas: lorsqu'il s'apperçoit que le centre de sa pesan-

teur n'est pas soutenu, il le rappelle dans la ligne de direction, en allongeant le bras du côté opposé, comme un levier dont le poids est d'autant plus puissant que ses parties sont plus loin du centre de leur mouvement : & lorsqu'il n'est point encore assez habile dans son art, il emploie pour cet effet un contrepoids, qu'il avance à droite & à gauche, selon le besoin.

Les enfans qui commencent à marcher, & qui n'ont point encore acquis l'habitude de diriger leurs corps relativement aux différens plans sur lesquels ils passent, évitent, par les mouvemens de leurs bras, une partie des chûtes auxquelles les expose presque continuellement une démarche qui n'est pas encore bien assurée.

Pourquoi les personnes qui ont un gros ventre se penchent-elles en arrière ? c'est que sans cette attitude, le centre de pesanteur trop peu soutenu, les mettroit en danger de tomber sur la face. Un crocheteur au contraire, qui porte un gros fardeau sur le dos, se courbe en avant, parce

118 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON. que sa charge & lui ont un centre de gravité commun , qui le plus souvent se trouve placé hors du porteur , & qui ne seroit point soutenu s'il marchoit droit. Il faut donc de nécessité qu'il se penche jusqu'à ce que ce centre se trouve dans une ligne verticale qui passe entre ses deux pieds.

Quand on veut se tenir debout sur une jambe , on est obligé de faire un mouvement de côté , pour mettre le corps perpendiculairement sur celui des deux pieds qui doit le soutenir ; si l'on veut se baisser en portant la tête en avant , il faut nécessairement porter en arrière la partie opposée , pour entretenir l'équilibre entre l'une & l'autre ; voilà pourquoi l'on ne peut ni se tenir sur un seul pied ; ni rien ramasser devant soi en se baissant , lorsque l'on a immédiatement à côté & derrière soi un mur ou un arbre qui empêche les mouvemens qu'il faut faire , pour placer ou pour maintenir le centre de gravité dans la ligne de direction qui passe au point d'appui.

Qui sont composées de plans inclinés.

PARMI les machines qui agissent comme plans inclinés, les plus simples, & celles dont l'usage est le plus commun, sont les *Coins* & les *Vis* : je me bornerai à ces deux espèces ; & en examinant leurs principales propriétés, j'en indiquerai quelques autres qui peuvent s'y rapporter.

DU COIN.

On donne communément le nom de *Coin* à un corps dur composé de trois plans qui terminent deux triangles comme DAC , *Fig. 5.* les deux plus longs de ces plans forment un angle à la ligne Aa , qu'on appelle *la Pointe* ou *le Tranchant* : le plus petit Dc , qui détermine leur écartement se nomme *la Base*, ou *la Tête*, & la hauteur se mesure par la ligne AB qu'on regarde aussi comme l'axe du coin.

On se sert ordinairement de cette machine pour fendre, soulever, ou presser quelque matière ; & pour la

 I X.
 LEÇON.

faire agir, on employe la pression d'un ressort ou d'un poids, & plus communément encore le choc d'un corps dur qu'on fait mouvoir avec une certaine vitesse, comme un marteau, un maillet, &c.

Le plus souvent la résistance que l'on a à vaincre avec le coin, vient de la ténacité des parties qu'il faut désunir & écarter; cette adhérence qui varie à l'infini, selon la nature des corps, leur grandeur, leur figure, & quantité d'autres circonstances, ne peut s'estimer que très-difficilement; d'un autre côté, la percussion que l'on employe pour faire agir le coin, est une force qu'il est bien difficile de comparer sans erreur à celle d'une simple pression, parce que le produit de son effort ne dépend pas seulement de la quantité du mouvement dans le corps qui frappe, mais encore de la nature de celui qui est frappé, de la manière dont il reçoit le coup, & de plusieurs autres causes qui influent souvent plus ou moins qu'on ne l'a pensé. J'écarterai donc toutes ces considérations comme étrangères à mon objet présent; & pour

pour me renfermer précisément dans les propriétés du coin, je supposerai des puissances dont on connoît la force absolue, comme des poids ou des ressorts d'une force déterminée, afin de n'avoir plus à considérer que les rapports que prennent entr'elles la puissance & la résistance, par la seule interposition du coin.

En considérant les différentes manières dont le coin peut agir, j'en conçois principalement deux, auxquelles il me semble qu'on peut rapporter toutes les autres avec des modifications. Premièrement, j'imagine deux corps *A, B*, *Fig. 6.* appuyés sur un plan bien solide, sur lequel ils ne puissent que glisser ou rouler dans les directions *CD, CD*; je suppose aussi qu'une force déterminée, comme de 10 livres, par exemple, appliquée en *E*, s'oppose à ce mouvement: si je fais descendre entre les deux corps, le coin *FGH* de toute sa hauteur, il est certain qu'à la fin de cette action les deux mobiles *A, B*, seront écartés l'un de l'autre de toute la largeur de la base *FH*. On conçoit bien aussi qu'ils le feroient plus ou moins, si j'employois

 IX.
LEÇON.

un autre coin dont l'angle fût plus ou moins ouvert, comme imG , ou lnG ; mais pour transporter ainsi deux masses qui résistent, il faut de la force, & l'on est obligé d'en employer davantage quand on les transporte à une distance plus grande dans un temps déterminé.

Secondement, je me représente un coin qui fait effort pour écarter davantage les deux parties d'une buche entr'ouverte, *Fig. 7.* tandis qu'elles résistent à cet écartement, par la liaison des fibres qui sont encore unies au-dessous de l'angle p . Je conçois les deux lignes sp , pq , & de l'autre part tp , tr , comme deux leviers angulaires, dont les bras pr , pq , sont liés ensemble par des fils également distans l'un de l'autre; le coin agissant en t & en s , fait donc son effort par les deux bras tp , sp , contre le premier lien qui est à l'angle p , tandis que les deux autres bras s'appuyent mutuellement l'un contre l'autre au-dessous. Si ce lien est inflexible, & qu'il ne puisse céder sans se rompre, l'effort du coin produira cet effet s'il excède un peu la force de ce fil; & s'il est une

fois rompu, celui qui le suit immédiatement, quoiqu'aussi fort, se rompra plus facilement par la même action du coin, parce qu'alors le levier de la puissance est augmenté en longueur, comme on le peut voir par les deux lignes ponctuées qui répondent au second lien; & par la même raison, cet avantage que reçoit la puissance doit aller toujours en augmentant. N'est-ce pas pour cela que les bois durs & secs, les pierres, le verre, & en général toutes les matières dont les parties sont fort roides, se cassent par éclat, & se fendent fort aisément dès qu'on a commencé à les entamer? Il n'en seroit pas tout-à-fait de même si ces liens que je suppose étoient flexibles, parce que les premiers venant à céder un peu, laisseroient porter aux autres une partie de l'effort du coin, & la même force ne suffiroit pas pour les rompre tout-à-fait.

Que le coin agisse de l'une ou de l'autre façon, il paroît 1°. Qu'on peut s'en servir avantageusement pour vaincre de grandes résistances : 2°. Que son action devient d'autant

IX.
LEÇON.

plus puissante, qu'il est plus aigu. L'expérience, en confirmant ces deux propositions, nous donnera lieu de déterminer le rapport des puissances qui agissent l'une contre l'autre par le moyen de cette machine.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LES deux plans AC , AC , Fig. 8. forment les deux faces d'un coin, qui peut devenir plus ou moins aigu, par le moyen d'une charnière qui est au point C , & de deux écrous E , F , qui arrêtent les deux autres extrémités à la règle GH ; pour cet effet cette dernière pièce doit être percée d'une rainure à jour dans laquelle on fait glisser deux tourillons à vis que l'on a ajoutés aux bouts des deux plans. DI est un châssis placé horizontalement sur deux montans qui aboutissent à une tablette qui leur sert de pied. Deux rouleaux m , n , tournent dans de petites chappes qui glissent avec beaucoup de facilité, sur deux fils de métal tendus d'un bout à l'autre du châssis. Deux cordons qui tiennent de

Fig. 2.

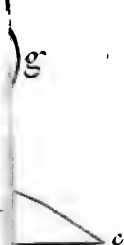


Fig. 3.

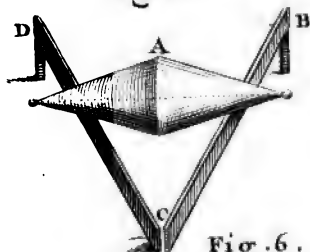


Fig. 6.

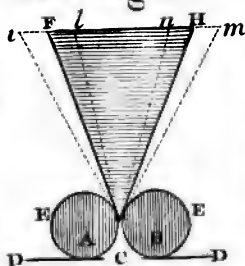
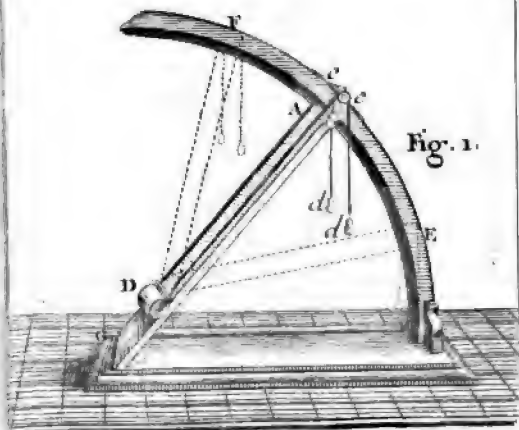
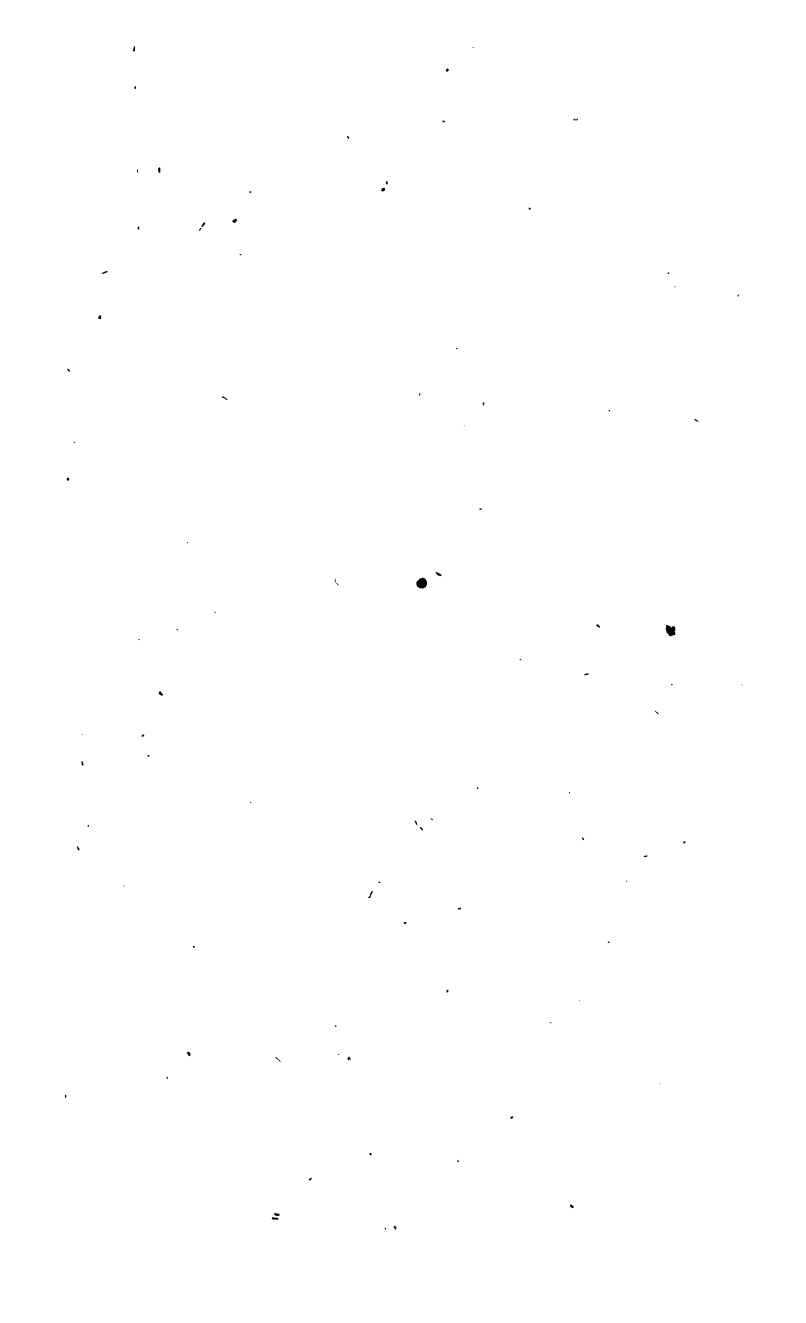


Fig. 5.



Fig. 1.





part & d'autre aux chappes des rouleaux, & qui passent sur deux paires de poulies placées au milieu du chassiss *DI*, sont reçus en *C* par une bride de métal à laquelle on attache un poids. On voit, par cette disposition, que les rouleaux ne peuvent être écartés l'un de l'autre que par une force capable d'élever le poids *p*, & que le coin *ABC*, agissant contre eux par son propre poids, ou par celui qu'on lui ajoute, il est facile de comparer l'effort de la puissance avec celui de la résistance.

IX.
LEÇON.

Le poids *p* étant de deux livres, on rend le coin tellement aigu, que son propre poids suffise pour écarter les rouleaux; ensuite on l'ouvre de manière que sa base *AB*, soit égale à la moitié de la hauteur *K C*.

E F F E T S.

1°. Lorsque le coin est assez aigu, quoiqu'il ne pèse qu'environ 8 onces, son effort devient suffisant pour écarter les rouleaux.

2°. Lorsque sa hauteur égale deux fois la largeur de sa base; il écarte encore les rouleaux, c'est-à-dire, qu'a-

126 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

vec un effort d'une demi-livre il fait équilibre à une force qui est quadruple.

EXPLICATIONS.

Si le poids p de notre expérience, étoit partagé en deux autres d'une livre chacun, comme p, r , Fig. 9. & que les deux rouleaux m, n , ne pussent s'écarter l'un de l'autre sans faire monter d'autant ces deux poids, il est certain que sans l'interméde de la machine, il faudroit une masse égale à deux livres pour leur faire équilibre, & un peu plus pour les faire monter: or nous voyons que par le moyen d'un coin, 8 onces les enlèvent; nous voyons aussi qu'avec ces 8 onces on produit le même effet quand la base du coin égale seulement la moitié de sa hauteur: nos deux propositions sont donc prouvées; il s'agit maintenant d'expliquer le fait.

La force d'un corps qui se meut, ou qui tend à se mouvoir, vient de sa masse & du degré de vitesse qu'il a ou qu'il auroit si le mouvement avoit lieu. Or le coin abc ne peut descendre de toute sa hauteur, que les rouleaux ne

parcourent en même temps les deux espaces cl , ci , & que par conséquent les deux poids p , r , ne fassent autant de chemin en montant ; mais chacun de ces espaces n'est que le quart de la hauteur du coin , de sorte qu'un poids placé en k fait dans le même tems quatre fois autant de chemin en descendant , que les poids p , r , en font en montant ; ainsi dans le cas de l'équilibre, le poids k doit être à la somme des deux autres en raison réciproque des vitesses, c'est-à-dire, une demi-livre contre 2 livres lorsque la ligne $k c$ est quadruple de la ligne $a k$; d'où il suit cette proposition générale : *La puissance est à la résistance , dans le cas d'équilibre , comme la demi-base du coin est à sa hauteur ;* ce qui n'a lieu cependant à la rigueur , que quand les forces opposées peuvent être comparées à des poids , comme dans l'expérience précédente , & que le coin est bien aigu.

APPLICATIONS.

LES usages du coin ne sont pas bornés à fendre du bois ou des pierres , & sa forme n'est pas toujours celle d'un morceau de fer grossièrement aiguilé

 IX.
LEÇON.

qu'on chasse à coups de marteaux : on peut dire en général que tous les outils tranchans , de quelque nature qu'ils soient , la coignée & la serpe du bûcheron , le ciseau & la gouge du sculpteur & du menuisier , la lancette & le scapel du chirurgien , le couteau & le rasoir qui sont entre les mains de tout le monde , sont autant de coins , dont l'angle , la grandeur , la figure , la dureté sont proportionnés à la qualité des matières sur lesquelles ils doivent agir , & à l'action du moteur qui doit régler leur effort. Cette observation se présente d'elle-même , lorsqu'on fait attention que tous ces instrumens ont essentiellement deux surfaces plus ou moins inclinées l'une à l'autre , & qui forment toujours à l'endroit de leur jonction , un angle plus ou moins aigu.

Comme c'est l'angle qui est la partie essentielle du coin , il n'est pas nécessaire qu'il soit formé par le concours de deux seuls plans ; les clous qui ont quatre faces qui aboutissent à une même pointe , les poinçons ronds , les épingles , les aiguilles , &c. dont la superficie peut être regardée com-

me un assemblage de lignes qui se réunissent à un angle commun, sont aussi l'office de coins, & doivent être considérés comme tels.

Il faut remarquer que, parmi les différentes sortes de tranchans, il y en a beaucoup que l'on fait agir en les traînant selon leur longueur, en même temps qu'on les appuie directement contre le corps qu'on veut entamer; tels sont les couteaux, les bistouris, &c. Ces sortes d'instrumens agissent en même temps comme des coins & comme des scies; car il faut savoir que le tranchant le plus fin est composé de parties qui ne sont pas toutes exactement dans la même ligne; les unes plus hautes que les autres forment autant de petites dents qu'on peut appercevoir avec le microscope, & qui ne tiennent pas contre un long usage; c'est pourquoi l'on a soin de les réparer comme on les avoit fait naître, en frottant les faces de la lame sur une pierre à aiguïser; (ce que l'on nomme *donner le fil*;) tout instrument qui coupe de cette manière n'a pas besoin qu'on l'appuie aussi fort qu'un autre; c'est pourquoi

dans les opérations de Chirurgie on préfère, autant que l'on peut, l'usage du bistouri à celui des ciseaux qui ne coupent qu'en serrant, pour éviter la contusion des parties, & pour épargner de la douleur au malade.

Mais quoiqu'un tranchant soit fait pour couper en traînant, comme les couteaux ordinaires, il ne faut point oublier qu'il peut aussi entamer & diviser un corps contre lequel il ne seroit que pressé directement. C'est une témérité que de frapper, comme on fait quelquefois, avec la paume de la main sur le tranchant d'un rasoir; la peau véritablement résiste un peu plus quand l'instrument n'agit sur elle que comme un coin, sur-tout s'il attaque à la fois une grande étendue; mais il est toujours dangereux d'essayer jusqu'où peut aller cette résistance.

D E S V I S.

LA *Vis* est un cylindre ou un cône fort allongé sur lequel on a creusé une gorge qui tourne en spirale; la cloison qui est réservée entre les tours de cette gorge, s'appelle le *Filet* de la vis; & la distance qu'il y a d'un filet à l'autre

se nomme le *Pas*: on pratique aussi ce filet & cette gorge dans une cavité cylindrique pour en faire une vis intérieure; & quand ces deux sortes de vis sont tellement proportionnées que le filet de l'une peut se mouvoir dans la gorge de l'autre, & réciproquement, celle qui est creuse prend le nom d'*Écrou*.

En jettant seulement les yeux sur les *Fig. 10 & 11* on reconnoît facilement que le filet d'une vis, à ne considérer que l'endroit qui reçoit l'effort de la résistance, n'est autre chose qu'un plan incliné à la base du cylindre qu'il enveloppe; & que ce plan est d'autant plus incliné que les pas sont moins grands; ainsi lorsqu'une vis tourne dans son écrou, ce sont deux plans inclinés dont l'un glisse sur l'autre. La hauteur est déterminée pour chaque tour par la distance d'un filet à l'autre, & la longueur est donnée par cette hauteur, & par la circonférence de la vis; car si l'on développe un de ces filets ab , avec son pas bc , on aura le triangle abc , *Fig. 10*.

Quand on veut faire usage de cette machine, on attache ou l'on appli-

 IX.
LEÇON.

que l'une des deux pieces (la vis ou l'écrou) à la résistance qu'il faut vaincre, & l'autre lui sert comme de point d'appui ; alors en tournant , on fait mouvoir l'écrou sur la vis, ou la vis dans l'écrou , selon sa longueur ; & ce qui résiste à ce mouvement , avance ou recule d'autant. Aux étaux des Serruriers , par exemple , une des deux mâchoires est poussée par l'action d'une vis contre l'autre , à laquelle est fixé un écrou : il faut , comme on voit , que la puissance fasse un tour entier pour faire avancer la résistance d'un pas , c'est-à-dire , d'un filet à l'autre : ainsi en la supposant appliquée immédiatement à la circonférence de la vis , l'espace qu'elle parcourt , ou son degré de vitesse , est ac , & celui de la résistance est bc ; mais comme on fait ordinairement tourner les vis , & sur-tout celles qui sont grosses , avec des leviers ou avec quelque chose d'équivalent , la force motrice fait beaucoup plus de chemin que si elle menoit immédiatement la vis ; ce n'est plus ac qui exprime sa vitesse , c'est la circonférence d'un cercle dont le levier DE est le demi-diamètre. On peut donc

établir en général que dans l'usage des vis, si l'on n'a point égard aux frottemens, *la puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la hauteur du pas bc, est à la circonférence que décrit l'extrémité E du levier par lequel on agit, c'est-à-dire, en raison réciproque des vitesses.*

Selon la matiere dont on fait les vis, & les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes aux filets; le plus souvent ils sont angulaires, comme dans la Fig. 10, ou quarrés comme dans la Figure 11. Ceux-ci se pratiquent ordinairement aux grosses vis de métal qui servent aux presses & aux étaux, parce qu'elles en ont moins de frottemens. On fait aux vis de bois des filets angulaires pour leur conserver de la force; car par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte: on donne aussi la même forme aux filets des vis en bois, je veux dire, ces petites vis de fer qui finissent en pointe, & qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois; on doit les considérer, de même que les *mèches* des vrilles & des tarières,

comme des coins tournans, dont l'angle ouvre le bois d'autant mieux qu'il est plus aigu.

Parmi un grand nombre de machines dont la partie principale est une vis, il en est deux qui tiennent un rang distingué; l'une est cette fameuse vis qui porte depuis près de deux mille ans le nom d'Archimédes son Auteur, & qui peut, dans bien des occasions, s'appliquer fort utilement à élever les eaux; l'autre est la *vis sans fin*, ainsi nommée, parce que son action est continue du même sens, au contraire des vis ordinaires, qui se meuvent dans un écrou, & qui cessent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur.

La vis d'Archimédes est composée d'un cylindre incliné à l'horizon, qui tourne sur deux pivots *A, B*, *Fig. 12.* & d'un canal ou tuyau qui l'enveloppe en forme d'hélice. Un corps grave placé à l'embouchure *C* du canal, tombe par son propre poids en *d*: lorsqu'on fait tourner la vis, le point *d* du tuyau passe au point *e*, & le mobile que son poids retient toujours à l'endroit le plus bas, se trouve dans

le canal au point *f* qui a fait un demi-tour, & qui est venu en *g*. En continuant ainsi, on lui fait parcourir toute la longueur de la vis de bas en haut; de sorte que par le moyen de cette ingénieuse machine, un corps monte en vertu de la même force qui le fait descendre. Si la partie inférieure de cette vis est plongée dans l'eau, on conçoit facilement que ce canal doit s'emplir à mesure qu'il tourne, & procurer un écoulement par la partie d'en haut.

Comme cette machine se meut sur deux pivots, une force peu considérable peut la faire tourner, pourvu qu'elle soit bien en équilibre avec elle-même; mais on ne peut gueres s'en servir que pour élever l'eau à une hauteur médiocre, comme lorsqu'il s'agit de dessécher un terrain; parce que cette vis étant nécessairement inclinée, ne peut porter l'eau à une grande élévation, sans devenir elle-même fort longue, & par-là très-pesante, & sans courir les risques de se courber & de perdre son équilibre.

Ce que l'on nomme ordinairement, *Vis sans fin*, est une machine compo-

136 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

sée d'une vis dont le cylindre ou noyau tourne toujours du même sens sur des pivots qui terminent ses deux extrémités ; les filets de cette vis , qui sont le plus souvent quarrés , mènent en tournant une roue verticale dont ils engrennent les dents. Cette roue porte à son centre un rouleau avec une corde à laquelle on attache le fardeau qu'on veut élever , de la même manière qu'au treuil. *Voyez la Figure 13.*

Par le moyen de cette machine , on peut vaincre avec très-peu de force une très-grande résistance : mais cet avantage coûte bien du tems ; car il faut que la vis fasse un tour entier pour faire passer une dent de la roue , & il faut que toutes les dents passent , pour faire tourner une fois le rouleau ; de sorte que si le nombre des dents est 100 , & que le diamètre du rouleau soit de 4 pouces , pour élever la résistance P à la hauteur d'un pied , il faut que la puissance F fasse tourner 100 fois la manivelle ; mais il y a bien des occasions où cette lenteur est le principal objet qu'on se propose , comme lorsqu'il s'agit de modérer le mouvement

Fig. 9.

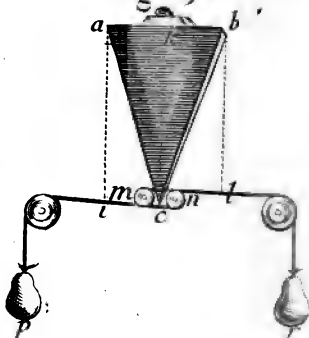


Fig. 10.

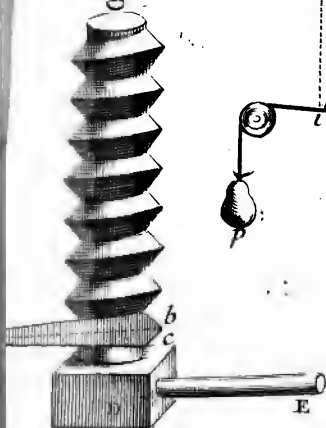


Fig. 13.

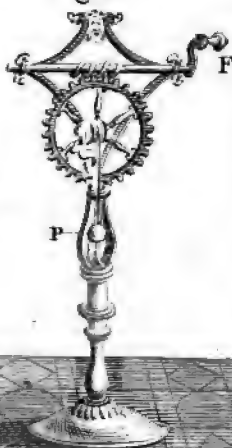
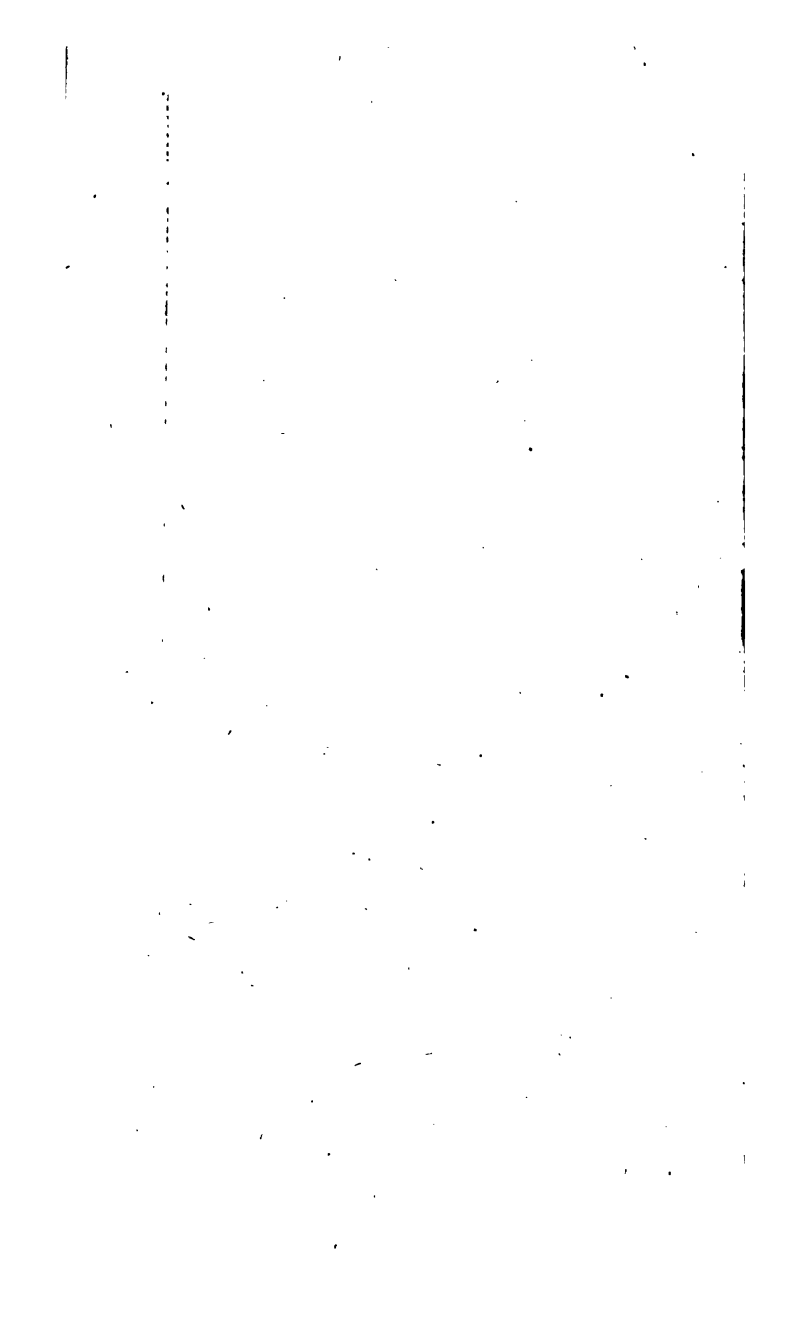


Fig. 12.





mouvement d'un rouage, ou bien de faire avancer ou reculer un corps d'une très-petite quantité qu'il importe de connoître.

Dans cette section, comme dans la précédente, j'ai toujours fait abstraction des frottemens, pour n'avoir égard qu'aux effets qui naissent de chaque machine considérée en elle-même; il est bon d'avertir cependant que dans l'usage des vis & du coin, il arrive souvent que l'effet principal vient des frottemens, & que si dans la pratique on négligeoit d'avoir égard à cette espèce de résistance, il y auroit bien peu de cas où les forces opposées pussent se comparer avec quelque justesse: deux exemples justifieront cette remarque. Lorsqu'avec un effort équivalent à 100 livres on a chassé un coin entre les deux parties d'une bûche entr'ouverte, la réaction ou le ressort du bois qui s'oppose à l'effort de la puissance, subsiste toujours quoiqu'on cesse d'agir contre; pourquoi donc le coin ne revient-il point de lui-même, quand il n'est point fort obtus? c'est qu'il oppose alors à la pression du bois qui le sol-

licite à reculer, le frottement de sa surface qui égale ou qui surpasse même la force qui l'a fait entrer. Quand on a serré les deux mâchoires d'un étau avec la vis, au moment que l'on cesse de la faire tourner, la résistance est en équilibre avec la puissance : sans le frottement de la vis dans son écrou, la moindre force devroit écarter les mâchoires qui ont été serrées ; cependant les plus grands efforts ne le font pas ; & c'est en quoi consiste le principal avantage de cet outil.

III. SECTION.

Des Cordes.

LES cordes sont des corps longs & flexibles, quelquefois simples, mais le plus souvent composés de plusieurs fibres ou fils de matière animale, végétale ou minérale. Les chaînes mêmes, par rapport à l'emploi qu'on en fait dans les machines, doivent être considérées comme des cordes ; car quoique leur structure soit tout-à-fait différente, elles ont les qualités es-

fentielles des cordes, la longueur & la flexibilité qui les rendent propres aux mêmes usages.

En mécanique, on emploie communément les cordes : 1°. pour changer la direction du mouvement, comme lorsqu'avec une poulie on fait monter un poids par l'effort d'un autre qui descend : 2°. pour transporter la puissance ou la résistance dans un lieu plus avantageux ou plus commode ; c'est par le moyen d'une corde, par exemple, qu'un cheval placé sur le rivage tire un bateau qu'il ne pourroit presque jamais faire mouvoir autrement : 3°. pour lier, ferrer, arrêter d'une manière simple & facile toutes sortes de mobiles qui tendent d'eux-mêmes à se défunir, ou qu'une force extérieure sollicite à s'écarter ou à se déplacer.

Les cordes par elles-mêmes ne peuvent ni augmenter ni diminuer l'intensité des forces qui agissent contre elles, ou contre lesquelles on les fait agir ; que la corde avec laquelle on sonne une cloche ait 15 brasses, ou qu'elle n'en ait qu'une ou deux, le sonneur n'en a ni plus ni moins

 IX.
LEÇON.

d'effort à faire; la force d'un cheval est la même lorsqu'il tire avec un gros ou avec un petit trait : mais parce qu'une corde est plus grosse ou plus longue, elle est plus pesante; elle se courbe, lorsqu'elle n'agit pas dans une direction verticale, & elle est moins flexible; or le poids, la courbure & la roideur des cordes sont des résistances ou des désavantages qui exigent un plus grand effort de la part de la puissance, & sur lesquels il est nécessaire de compter dans la pratique.

En parlant des puits où l'on tire l'eau par le moyen de deux seaux qui montent & descendent alternativement, nous avons déjà observé que la corde, dans les temps où elle est plus longue d'un côté que de l'autre, augmente la charge, & que cette augmentation devient considérable, lorsque la profondeur du puits ou du souterrain est grande : on peut dire la même chose des fardeaux que l'on traîne; les cordes ou les chaînes dont on se sert augmentent de leur propre poids la charge sur laquelle on agit.

La résistance qui vient de la pesanteur des cordes croît comme leur so-

lidité ou quantité de matiere ; en les considérant comme des cylindres, on doit donc, à longueurs égales, estimer la différence de leur poids par le quarré du diamètre. Si, par exemple, à la place d'une corde qui pèse 30 livres, ayant un pouce de diamètre, on en met une autre de même longueur & de même nature qui soit deux fois aussi grosse, celle-ci pèsera 120 livres, c'est-à-dire, quatre fois autant que la première, parce que son diamètre est double.

Non-seulement le poids de la corde augmente la somme des résistances dans l'usage des machines ; mais il arrive encore assez souvent qu'en la faisant courber, il fait prendre à la puissance une direction moins avantageuse que celle qu'elle auroit si la corde se tenoit parfaitement droite. Lorsqu'on tire un fardeau sur un plan incliné, nous avons fait voir que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsqu'il est dirigé parallèlement au plan, comme *AB*, *Fig. 1*. Mais il y a bien des occasions où la corde, devenant courbe comme *AEB*, à cause de sa longueur & de

IX. PREMIERE EXPERIENCE.

LEÇON.

PREPARATION.

On attache au plancher d'une chambre, ou à quelqu'autre appui solide, deux cordes semblables, *A, B*, *Fig. 2.* qui pendent parallèlement à 5 ou 6 pouces de distance l'une de l'autre, & qui soutiennent une tablette *CD*, sur laquelle on pose des poids.

Ces deux cordes font dans le même sens chacune un tour sur un cylindre *EF*, & au milieu on enveloppe en sens contraire un ruban ou un fil au bout duquel on attache un bassin de balance que l'on charge jusqu'à ce qu'il commence à faire rouler le cylindre de haut en bas, comme on le peut voir par la *Fig. 3.* On emploie dans ces expériences plusieurs paires de cordes, qui sont toutes de même matière, & dont les diamètres sont différens, & faciles à comparer : le cylindre doit toujours être du même poids, quoiqu'on varie sa grosseur ; & afin que le ruban ou fil qui pend en *f*, soit toujours à la même distance du point *e* *, on diminue le cylindre

* *Fig. 3.*

en

en son milieu; ou bien en évaluant l'effort du poids qui est suspendu au ruban ou fil, on tient compte de la distance du point *f* au point *e*, si elle est augmentée.

Dans cette première expérience, le diamètre des cordes est de trois lignes, celui du cylindre, d'un $\frac{1}{2}$ pouce, & l'on charge d'abord la tablette *CD* de 30 livres, & ensuite de 40 liv.

E F F E T S.

1°. Lorsque les cordes sont tendues par un poids de 20 livres, il faut que le poids *G* soit de 45 onces, pour commencer à faire descendre le cylindre : 2°. Lorsque l'on tend les cordes avec un poids de 40 liv. le cylindre n'obéit qu'à l'effort de 90 onces.

E X P L I C A T I O N S.

Le cylindre par son propre poids, ou par celui qui agit en *f*, tend à descendre: si quelque chose le retient, ce ne peut être que la corde qui l'enveloppe de part & d'autre; car sans cet obstacle, on conçoit bien qu'il tomberoit: mais cet obstacle n'en feroit point un, si la corde avoit une

flexibilité parfaite, si elle se plioit sans aucune difficulté; car alors toutes ses parties s'envelopperoient successivement sur le cylindre, & le laisseroient librement passer de l'endroit le plus haut à l'endroit le plus bas: toute la résistance qui cède premièrement à 45 onces, vient donc de la roideur des cordes qui sont tendues par le poids *CD*; & puisque cette roideur ne peut être vaincue que par 90 onces, quand le poids qui la fait naître, augmente de 20 à 40, c'est une preuve qu'elle croît, comme nous l'avons dit, en raison directe des forces qui tendent les cordes; car 45 sont à 90, comme 20 sont à 40.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On employe d'abord une paire de cordes, dont le diamètre est de deux lignes; elles sont tendues par un poids de 20 livres, & elles enveloppent un cylindre qui a un demi-pouce de diamètre.

Ensuite on fait servir une autre paire de cordes une fois plus menues.

que les précédentes, à qui l'on donne le même degré de tension, & que l'on fait tourner sur le même cylindre. IX.
LEÇON.

E F F E T S.

Dans le premier cas il faut 30 onces pour vaincre la roideur des cordes; dans le second il n'en faut que 15.

E X P L I C A T I O N S.

Quand la corde se courbe, son diamètre perpendiculaire à la surface du cylindre qu'elle enveloppe, doit être considéré comme un levier qui a son point d'appui au cylindre même; plus ce diamètre est grand, plus la puissance ou le poids qui tend la corde, est éloigné de ce point d'appui, & par conséquent plus il résiste au poids du cylindre, ou à celui qu'il soutient en *g* *. Ou bien l'on peut considérer le diamètre de la corde & celui du cylindre, comme ne faisant qu'un même levier, dont le centre du mouvement est en *e*; on voit facilement que si le bras *ef* restant le même, *eh* devient plus long, la puis-

* Fig. 3.

148 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

fance qui agit en *L* en aura d'autant plus de force pour vaincre celle qui pèse en *g*. En considérant ainsi la roideur qui vient de la grosseur des cordes, on voit tout d'un coup pourquoi lorsqu'on double leur diamètre, il faut aussi doubler le poids qui tend à faire descendre le cylindre. On voit de même pourquoi cette espece de résistance ne croît pas en raison de la solidité des cordes, comme on le pourroit croire, mais seulement en raison des diamètres, comme nous l'avons établi dans notre proposition.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Les cordes étant de trois lignes de diamètre, & tendues par un poids de 60 livres, on employe d'abord un cylindre d'un pouce, & ensuite un autre d'un $\frac{1}{2}$ pouce de diamètre.

E F F E T S.

La roideur des cordes avec le premier cylindre cède à 114 onces, & avec le second à 135.

Les cordes & les poids qui les tiennent tendues restant les mêmes, leur roideur ne peut varier que par le diamètre du cylindre qu'elles enveloppent. Quand ce cylindre est plus petit, la corde est obligée de se courber davantage ; or puisque cette courbure en général est un obstacle à la descente du cylindre, comme nous l'avons fait voir par la première expérience, une plus grande courbure doit augmenter la résistance. On pourroit être tenté de croire, que le diamètre du cylindre une fois plus petit, devroit rendre la même corde une fois plus roide : mais l'expérience fait voir que ce rapport n'a pas lieu dans tous les cas ; car 135 onces, à beaucoup près, n'égalent pas deux fois 114, comme le premier cylindre égale deux fois le second, par la grandeur de son diamètre.

APPLICATIONS.

Ce que nous avons prouvé par les expériences précédentes doit servir de règle dans l'usage des poulies, des

 IX.
LEÇON.

treuils , des cabestans , &c. toutes ces machines ne peuvent s'employer qu'avec des cordes , ou pour parler plus exactement , les cordes en font une partie essentielle ; si l'on négligoit de compter sur leur roideur , on tomberoit infailliblement dans des erreurs considérables , , & le mécompte se trouveroit principalement dans les cas où il est le plus important de ne se point tromper , je veux dire dans les grands effets ; car alors les cordes sont nécessairement grosses & fort tendues.

On doit donc avoir soin, 1°. de préférer les grandes poulies aux petites , si la place le permet , non-seulement parce qu'ayant moins de tours à faire , leur axe a moins de frottement , mais encore parce que les cordes qui les entourent , & qu'elles font mouvoir , y souffrent une moindre courbure , & leur opposent par conséquent moins de résistance ; cette considération est d'une si grande conséquence dans la pratique , qu'en évaluant la roideur de la corde , selon la règle de M. Amontons * , on voit clairement que si l'on vouloit enlever un fardeau de

* *Mém. de
l'Acad. des
Scienc. 199.
p. 8. 22*

800 livres avec une corde de 20 lignes de diamètre, & une poulie qui n'eût que trois pouces, il faudroit augmenter la puissance de 212 livres pour vaincre la roideur de la corde ; au lieu qu'avec une poulie de 2 pieds de diamètre, cette espece de résistance céderoit à un effort de 22 liv. toutes choses égales d'ailleurs.

IX.
LEÇON.

On peut juger de-là que les poulies mouflées ne peuvent jamais avoir tout l'effet qui devroit résulter du nombre & de la disposition des leviers qu'elles représentent ; car dans ces fortes de machines les cordes ont plusieurs retours, & quoique les puissances qui les tendent, chargent d'autant moins les axes, que les poulies sont plus nombreuses, cependant, parce qu'il n'y a point de corde dont la flexibilité soit parfaite, en multipliant les courbures, on augmente nécessairement la résistance qui vient de leur roideur.

Cet inconvénient qui est commun à toutes les mouflés, est encore plus considérable dans celles où les poulies rangées les unes au-dessus des autres, doivent être de plus en plus petites ;

IX.
LEÇON.

pour donner lieu à la corde de se mouvoir sans se toucher & se frotter. Car nous avons fait voir par la troisième expérience, que la corde a plus de peine à se plier, quand elle enveloppe un cylindre d'un plus petit diamètre: les poulies mouflées qui sont toutes de même grandeur, sont donc préférables dans les cas où la raison que nous venons d'exposer, n'est point combattue par d'autres plus fortes.

LES personnes qui sont dans l'habitude de tourner, soit au pied, soit à l'archet, savent, par leur propre expérience, combien il est nécessaire de proportionner la grosseur de la corde à celle de la piece qu'on fait tourner: si l'on n'a point cette attention, on ne peut jamais exécuter aucun ouvrage délicat entre deux pointes, parce que l'effort qu'il faut faire pour vaincre la roideur de la corde, porte sur la piece qu'on fait tourner; cette piece ne peut le soutenir qu'autant qu'elle est forte de matiere: & rien ne marque mieux combien une corde trop grosse a de peine à se mouvoir, que le peu de temps qu'elle met

à s'échauffer & à s'user , quand elle enveloppe une partie fort menue.

IX.
L'ÉCON.

LES cordes que l'on employe dans les machines destinées à faire de grands efforts , doivent être durables , parce qu'elles ne se font & ne se réparent qu'à grands frais : elles doivent être capables aussi d'une grande résistance , sans quoi elles deviendroient inutiles , ou elles occasionneroient des accidens fâcheux. Mais ces deux qualités sont difficiles à concilier avec une grande flexibilité , parce qu'elles ne peuvent gueres s'acquérir que par une grosseur considérable , & par quelque préparation qui donne nécessairement de la roideur. Les cables qu'on employe dans les bâtimens , & mieux encore ceux qui servent dans la navigation , seroient d'un usage bien plus avantageux & plus commode , si l'on pouvoit trouver quelque moyen de les rendre plus légers & plus flexibles , sans leur ôter la force qui leur est nécessaire , & sans les rendre moins durables ; le choix des matieres , la façon de les préparer & de les mettre en œuvre , doivent sans doute contribuer beaucoup à cet effet ; mais une

154 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

attention qu'on néglige un peu trop ; & qu'on devroit avoir cependant , c'est de proportionner les cordes aux efforts qu'elles ont à soutenir , de les choisir assez fortes pour ne point manquer ; mais de ne rien faire de superflu à cet égard , parce que cette force surabondante ne va point ordinairement sans une augmentation de poids , de roideur , & de frais qu'il est toujours utile d'épargner.

La fabrique des cordes a été presque entièrement abandonnée jusqu'ici à des ouvriers peu intelligens pour la plûpart , qui n'y travaillent que par routine , & qui se contentent de répéter servilement ce que d'autres ont fait avant eux : cet objet cependant est d'une assez grande importance , pour mériter l'attention des savans , & l'on ne peut être que très-satisfait de voir qu'il occupe quelques-uns de ceux qui refusent leur temps à des spéculations sublimes, assez souvent inutiles, pour le donner à des choses qui tendent plus directement au bien-être de la société. M. Duhamel du Monceau , pour remplir une partie des vues que les devoirs de sa pla-

Te * lui ont fait naître, nous a donné un ouvrage qui contient l'art de la Corderie, fondé sur un grand nombre d'expériences qu'on lui a vû faire dans nos Ports. Ce n'est pas seulement une histoire ou une description de ce qu'on a coutume de pratiquer dans les ateliers où l'on fabrique des cordes, mais un recueil d'instructions nouvelles & utiles qui pourront procurer à cet Art la perfection dont il a besoin.

IX.

LEÇON.

* Inspecteur
général de la
Marine.

APRÈS avoir parlé de la roideur des cordes, & de la maniere dont on peut estimer la résistance qui en résulte dans les machines, il nous reste à dire quelque chose de leur force, & des changemens dont elles sont susceptibles, lorsqu'elles deviennent alternativement seches & humides.

Les cordes qui sont le plus en usage dans la mécanique, celles dont il s'agit principalement ici, sont des assemblages de fibres que l'on tire des végétaux comme le chanvre, ou du regne animal, comme la soie ou certains boyaux ou nerfs que l'on met en état d'être filés. Si ces fibres étoient assez longues par elles-mêmes, peut-

IX.
LEÇON.

être se contenteroit-on de les mettre ensemble, de les lier en forme de faisceaux sous une enveloppe commune ; cette maniere de composer les cordes , eût peut-être paru la plus simple , & la plus propre à leur conserver cette qualité qui est la plus nécessaire , la flexibilité : mais comme toutes ces matieres n'ont qu'une longueur fort limitée ; on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant , c'est-à-dire , en les tortillant ensemble , de maniere que les unes s'unissant en partie aux autres , sont embrassées & retenues de même par celles qui suivent ; le frottement qui naît de cette sorte d'union est si considérable , qu'elles se cassent plutôt que de glisser l'une sur l'autre selon leur longueur : c'est ainsi que se forment les premiers fils dont l'assemblage fait un cordon , & de plusieurs de ces cordons réunis & tortillés ensemble on compose les plus grosses cordes.

On juge aisément que la qualité des matieres contribue beaucoup à la force des cordes ; on conçoit bien aussi qu'un plus grand nombre de cordons également gros , doit faire

une corde plus difficile à rompre ,
 comme une plus grande quantité de
 fils forme un cordon d'une plus gran-
 de résistance : mais quelle est la ma-
 nière la plus avantageuse d'unir les
 fils ou les cordons ? le tortillement
 par lequel on a coutume de lier ces
 assemblages , donne-t-il plus de force
 aux cordes qu'elles n'en auroient , si
 les parties qui les composent étoient
 seulement réunies en forme de fais-
 ceaux ? c'est ce qui ne s'apperçoit pas
 aussi facilement ; si l'on en croyoit le
 préjugé , il semble qu'on décideroit
 en faveur du tortillement , parce que
 cette façon fait naître une union plus
 intime entre les parties composantes,
 & que la force du composé semble dé-
 pendre de cette union.

Il y a même des raisons spécieuses
 qui ont porté plusieurs Savans à juger
 comme le vulgaire à cet égard : on sait
 en général que la force d'un corps dé-
 pend de sa solidité , de sa grosseur ; le
 tortillement rend une corde plus gros-
 se qu'elle ne le seroit , si ses fils ou
 cordons n'étoient qu'assemblés à côté
 les uns des autres ; car c'est un fait cer-
 tain, qu'en tortillant ensemble cinq ou

158 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX. LEÇON.

fix fils , on rend cet assemblage plus court & plus gros ; il semble donc que cette grosseur acquise aux dépens de la longueur , devroit faire un corps plus difficile à rompre.

D'ailleurs le tortillement fait prendre aux fils une direction qui est oblique à la longueur de la corde qu'ils composent ; & comme l'effort d'une corde se fait sur sa longueur, il s'ensuit que la force qui la tient tendue , n'agit qu'obliquement sur les fils , & que par conséquent ils en sont plus en état de résister ; car une action oblique a moins d'effet qu'un effort qui se fait directement.

Malgré ces vraisemblances , l'expérience a décidé que cette façon que l'on donne aux cordes , commode & avantageuse à d'autres égards , les affoiblit plutôt qu'elle n'augmente leur force. C'est ce qui paroît d'une manière bien décisive , par un mémoire fort curieux de M. de Reaumur *, où cette matière paroît avoir été traitée pour la première fois , & d'où j'ai tiré les preuves que je vais rapporter.

* *Mém. de l'Acad. des Sciences* 1711. p. 6.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

IX.
LEÇON.

ON choisit un écheveau de fil à coudre, le plus égal qu'il est possible, on le divise en plusieurs bouts dont on éprouve la force en y suspendant des poids connus jusqu'à ce que les fils rompent. Lorsqu'on est assuré de ce qu'ils peuvent porter séparément sans se casser, on en tortille ensemble 2, 3, ou 4, &c. pour en faire une petite corde à laquelle on suspend pareillement des poids, pour savoir combien elle est en état d'en soutenir. Voyez la *Figure 4.*

EFFETS.

Les fils tortillés, en quelque nombre que ce soit, ne portent jamais un poids qui égale la somme de ceux qu'ils portoient séparément.

EXPLICATIONS.

Si le fil de notre expérience, employé simple, a une force équivalente à 6 livres, deux de ces fils C, D, porteront sans doute la somme

 IX.
LEÇON.

de 12 livres ; mais il faut pour cet effet , que l'effort soit partagé également à l'un & à l'autre , que chacun des deux n'ait à porter que la moitié de la somme totale , c'est-à-dire , 6 livres.

* Fig. 4.

Pour faire mieux sentir la nécessité de cette condition , imaginons que les deux poids de 6 livres *E* , *F* * , soient joints ensemble , & de manière que de cette somme de 12 livres , les deux tiers portent sur le fil *D* , & l'autre tiers sur *C* : le premier de ces fils cassera d'abord , parce que , suivant notre supposition , il ne peut porter que 6 livres , & non pas 8. Mais aussi-tôt qu'il sera rompu par cet effort excessif , l'autre se rompra aussi ; parce qu'il se trouvera chargé seul de tout le poids , dont il ne pourroit porter que la moitié. Ainsi quoique chacun de ces fils puisse résister à un effort de 6 livres , l'un & l'autre ensemble ne peuvent soutenir 12 livres , à moins qu'ils ne soient également chargés. Mais lorsque les deux fils sont tortillés ensemble il arrive infailliblement que l'un des deux l'est plus que l'autre ,
&

& que l'effort du poids est inégalement partagé entr'eux ; de-là il arrive qu'ils ne peuvent jamais soutenir ensemble les 12 livres qu'ils auroient porté séparément.

Une autre raison de cet effet , c'est qu'en tortillant ainsi les fils , on les tend ; & cette tension tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent soutenir. Ils ne sont donc plus en état de résister autant qu'ils auroient pû faire avant que d'être tortillés.

APPLICATIONS.

Les cables & autres gros cordages qu'on employe , soit sur les vaisseaux , soit dans les bâtimens , étant toujours composés de plusieurs cordons , & ceux-ci d'une certaine quantité de fils unis ensemble , comme ceux de notre dernière expérience ; il est évident qu'on n'en doit point attendre toute la résistance dont ils feroient capables , s'ils ne perdoient rien de leur force par le tortillement ; & cette considération est d'autant plus importante , que de cette résistance dépend souvent la vie d'un grand nombre d'hommes.

IX.
Leçon.

Mais si le tortillement des fils en général rend les cordes plus foibles, comme nous l'avons fait voir, on les affoiblit d'autant plus, qu'on les tord davantage; & c'est une attention qu'on doit faire valoir, sur-tout dans les fabriques établies pour le service de la Marine, de ne tordre qu'autant qu'il est nécessaire pour lier les parties par un frottement suffisant: Il seroit bien à souhaiter qu'on eût sur cela une règle à prescrire aux ouvriers, & qu'on pût compter sur leur docilité, & sur leurs soins pour l'observer.

Lorsqu'on a quelque grand effort à faire avec plusieurs cordes en même temps, ce qui empêche assez souvent de réussir, c'est qu'on ne les fait point tirer également; & alors elles cassent les unes après les autres, par les raisons que nous avons dites ci-dessus, & mettent en risque ceux qui les ont employées. Le tirage égal des cordes qui concourent à un même effort, n'est pas toujours aussi facile qu'il est nécessaire à obtenir; c'est un de ces cas assez ordinaires en mécanique, où le succès dépend pres-

que autant de l'adresse & de l'intelligence de celui qui opere , que des forces qu'il fait agir.

QUANT aux changemens qui peuvent arriver aux cordes , par la sécheresse ou par l'humidité , ils dépendent principalement de la matière & de la façon dont elles sont faites : je ne m'arrêterai ici qu'aux plus remarquables , & à ceux qui sont de quelque importance dans l'usage des machines.

Toutes les cordes qui sont composées de plusieurs fibres , filets ou cordons que l'on a tortillés ensemble , se gonflent & deviennent plus grosses lorsque l'eau les pénètre ; & au contraire à mesure qu'elles se séchent , elles diminuent un peu de grosseur ; mais en devenant plus grosses , elles perdent une partie de leur longueur , & elles se détordent un peu ; ce sont deux faits connus depuis long-temps , & que j'ai souvent constatés par l'expérience suivante.



J'ATTACHE au plancher , ou à quel-
qu'autre endroit fixe , des cordes de
chanvre , de boyaux , &c. aux bouts
desquelles je suspends des poids *H* , *K* ,
Fig. 5. assez forts seulement pour les
tenir tendues , & qui finissent en poin-
te au-dessus & fort près de la tablette
IL ; au bout de chacune des cor-
des , immédiatement au-dessus du
poids , je place un petit index de car-
ton , *g* , ou *h* , qui fait un angle droit
avec la corde que je mouille ensuite
d'un bout à l'autre , par le moyen
d'une éponge ; ou autrement.

E F F E T S .

On remarque 1^{ment} , que les cordes
s'accourcissent , parce que les poids
qui les tiennent tendues , s'élèvent un
peu au-dessus de la tablette : 2^{ment} ,
qu'elles se détordent , par le mouve-
ment de l'index qui tourne peu-à-peu
de droite à gauche

L'eau s'introduit dans une corde , comme elle entre dans tous les corps poreux ; elle en écarte les parties , & par cette raison la corde mouillée devient plus grosse. Mais les parties d'une corde sont des fibres qui se croisent un grand nombre de fois par le tortillement , & qui ne peuvent s'écarter l'une de l'autre , sans former un ventre , & sans que les extrémités se rapprochent : de-là vient le raccourcissement de toute la corde. Les particules d'eau qui ouvrent les petits interstices qui sont entre les fibres , dilatent aussi ceux qui se trouvent entre les cordons , & cette dilatation fait que la corde devient un peu moins torsée.

Ce qu'il y a de plus remarquable , c'est que ces effets ont lieu , nonobstant les poids qui tiennent les cordes tendues , & ces poids peuvent être assez considérables ; c'est un des exemples qu'on peut citer pour faire voir que de très-petites forces multipliées sont capables de produire de grands efforts. Une expérience qui

166 LEÇONS DE PHYSIQUE

IX.
LEÇON.

est assez curieuse par elle-même , & que je vais rapporter , apprendra comment un fluide qui s'introduit dans une corde , peut la rendre plus courte en la grossissant , quoiqu'une puissance considérable s'oppose à cet effet.

VI. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

A, B, C, Fig. 6, sont des vessies qui communiquent ensemble par des petits bouts de tuyaux qui servent à les joindre : *D* est un poids de 30 liv. qui repose sur le pied de la machine, quand les vessies sont vuides.

EFFETS.

Quand on souffle de l'air dans les vessies , par le tuyau qu'on voit en *E* , elles s'enflent , & le poids s'élève de plusieurs pouces.

EXPLICATIONS.

L'air qui s'introduit dans les vessies les dilate ; mais les parois *AA* , *BB* , *CC* , ne peuvent s'écarter l'une de l'autre que les extrémités de cha-

que vessie ne se rapprochent, & que tout l'assemblage par conséquent ne devienne plus court, & n'oblige le poids à s'élever.

Pour concevoir comment on peut élever par un simple souffle un poids aussi considérable, il faut faire attention que tout son effort se partage également à toute la surface des vessies; l'orifice du canal *E c*, n'occupe qu'une très-petite partie de cette surface: s'il n'en occupe qu'un $\frac{1}{1000}$, par exemple, la résistance qui s'oppose à son embouchure, & qu'il faut vaincre pour introduire l'air en soufflant, n'est donc que la $\frac{1}{1000}$ partie de 30 livres.

Les côtés *b A b*, *c A c*, * d'une de ces vessies représentent assez bien les fibres qui composent les cordes; comme l'air dilate les unes, l'humidité enfle les autres, & leur fait faire de grands efforts.

* Fig. 64

APPLICATIONS.

Ce qui arrive aux cordes que l'on mouille, se fait de même à l'égard des fils tords qu'on doit considérer comme de petites cordes, soit qu'on les emploie simples, soit qu'on en for-

IX.

LEÇON.

me des tissus. C'est pourquoi les toiles neuves se raccourcissent au premier blanchissage ; & généralement on voit toutes les étoffes se retirer lorsqu'on les mouille : celles qui sont fabriquées avec deux sortes de fils placés en différens sens , se retirent inégalement , & font prendre une mauvaise forme aux ouvrages auxquels on les fait servir. Les bas & les gands tricotés ne se mettent & ne peuvent s'ôter qu'avec peine lorsqu'ils sont humides ; cette difficulté ne vient que du rétrécissement causé par les particules d'eau qui ont gonflé les fils ; sans cela, l'interposition d'un fluide ne serviroit qu'à les faire glisser plus aisément sur la peau.

Le moyen de raccourcir les cordes en les mouillant , pourroit être d'un grand secours en certains cas : on dit (& c'est une tradition assez reçue ,) qu'en élevant un obélisque à Rome sous le Pontificat de Sixte V. l'entrepreneur se trouvant embarrassé, parce que les cordes étoient un peu trop longues , quelqu'un cria : *Mouillez les cordes* ; & que cet expédient ayant été tenté , réussit parfaitement.

Pour

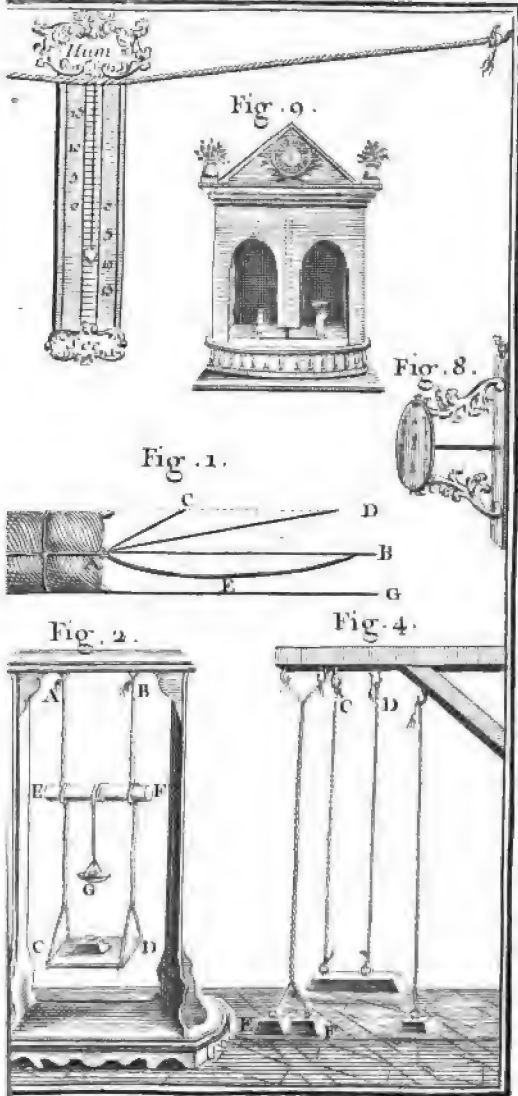
Pour vérifier ce fait , j'ai eu la curiosité de parcourir quelques ouvrages où l'on voit avec un grand détail , tout ce què Dominique Fontana fit par les ordres du Pape , depuis 1586 jusqu'à la fin de 1588 , pour relever quatre anciens obélisques qui étoient ensevelis sous des ruines , savoir , celui du Vatican , qui fut placé devant l'Eglise de saint Pierre ; un autre qui avoit servi au mausolée d'Auguste , & qui fut placé devant l'Eglise de S. Roch ; deux autres enfin qui étoient du grand cirque , & dont l'un est aujourd'hui devant Saint Jean de Latran , & l'autre devant Sainte Marie du Peuple : dans toutes mes recherches , je n'ai pas vu un mot des cordes mouillées : je ne crois pas cependant que cette anecdote eût été omise dans ces descriptions , qui sont , à tous égards , très-circonstanciées : je croirois donc volontiers que le fait est apocryphe ; mais sa possibilité n'est contestée de personne , & on la peut conclure des expériences que nous avons rapportées ci-dessus.

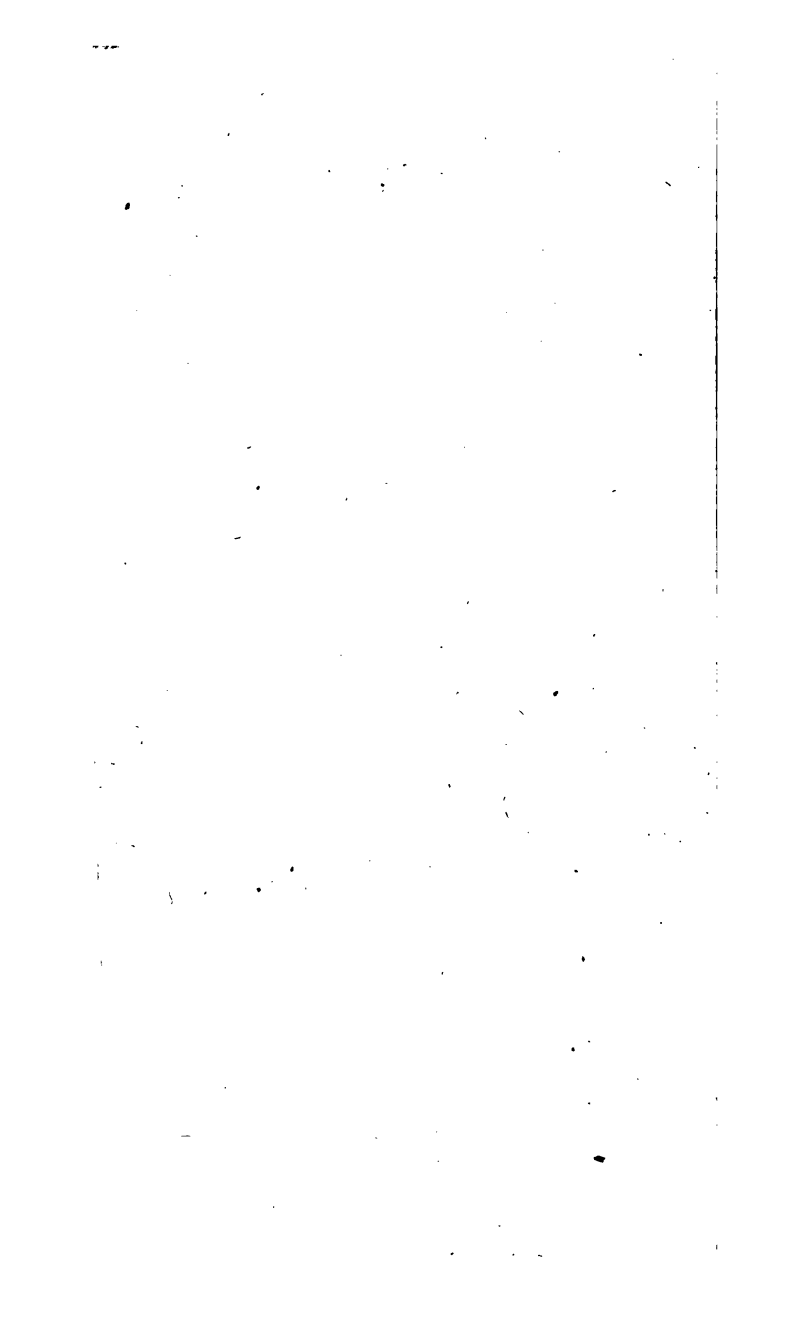
Il est à propos d'observer ici que les cordes mouillées ne peuvent vain-

IX.
LEÇON.

cre de grandes résistances en se raccourcissant, qu'autant qu'elles sont faites de matieres peu susceptibles d'allongement par elles-mêmes, telles que sont les fibres des végétaux ou la soie: si l'on mouille des cordes de boyaux, quoiqu'elles tendent à se raccourcir par les raisons que nous avons dites, cependant on les allongeroit infailliblement en les tirant avec une certaine force, parce que les fibres qui les composent sont extensibles en toutes sortes de sens, & elles le sont d'autant plus alors, que l'humidité en les pénétrant, augmente leur souplesse.

Comme l'humidité & la sécheresse ont des effets sensibles sur les cordes, on a tâché d'en profiter pour connoître l'état de l'atmosphère à cet égard; ces instrumens qu'on nomme *Hygromètres*, & à qui l'on donne tant de formes différentes, consistent principalement en une corde de chanvre ou de boyaux qui marque en s'allongeant & en se raccourcissant, ou bien en se tordant & en se détordant, s'il regne dans l'air plus ou moins d'humidité. Le plus simple de tous se fait





EXPERIMENTALE. 171

avec une corde de 10 ou 12 pieds que l'on tend foiblement dans une situation horizontale & dans un endroit à couvert de la pluie, quoiqu'exposé à l'air libre ; on attache au milieu un fil de laiton, au bout duquel on fait pendre un petit poids qui sert d'index, & qui marque sur une échelle divisée en pouces & en lignes les degrés d'humidité en montant, & ceux de la sécheresse en descendant. *Voyez la Fig. 7.*

Assez souvent on fait des hygromètres avec un bout de corde de boyaux que l'on fixe d'un côté à quelque chose de solide, & que l'on attache par l'autre, perpendiculairement à une petite traverse qui tourne à mesure que la corde se tord ou se détord, & qui marque, comme une aiguille, sur la circonférence d'un cadran, les degrés de sécheresse & d'humidité, *Fig. 8.* ou bien on place sur les extrémités de la petite barre deux figures humaines de carton ou d'émail, dont l'une rentre & l'autre sort d'une petite maison qui a deux portiques, lorsque le sec ou l'humide fait tourner la corde ; & l'on fait porter un petit parapluie à celle des deux figures que le

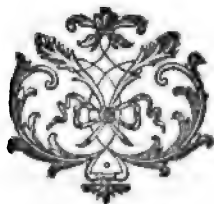
IX.
LEÇON.

IX. mouvement de la corde fait sortir
LEÇON. lorsque l'humidité augmente. *Voyez la Fig. 9.*

Les hygromètres que l'on fait de cette façon ou d'une manière équivalente, en cachant la corde pour y mettre un air de mystère, ne sont bons que pour amuser les enfans ; & l'on ne doit point s'attendre qu'ils apprennent quel est l'état actuel de l'atmosphère, par rapport à l'humidité & à la sécheresse, parce qu'on les garde dans des appartemens fermés, & que la corde, qui en est l'ame, est contenue comme dans un étui, où l'air ne se renouvelle que peu ou point.

Enfin le meilleur de ces instrumens n'apprend presque rien autre chose, sinon que la corde est mouillée, ou qu'elle est sèche : car, 1°. l'humidité qui l'a une fois pénétrée n'en sort que peu-à-peu, & selon l'exposition du lieu, le calme ou le vent qui régné ; & bien souvent il arrive que l'atmosphère a déjà perdu une grande partie de son humidité, avant que la corde en puisse donner aucun signe : 2°. Tout ce qu'on peut attendre d'un hygromètre à corde, c'est qu'il fasse

connoître s'il y a plus ou moins d'humidité dans l'air , par comparaison au jour précédent ; & l'on fait cela par tant d'autres signes , qu'il est assez inutile de faire une machine qui n'apprend rien de plus. Ce qu'il importeroit le plus de savoir , c'est de combien l'humidité ou la sécheresse augmente ou diminue d'un tems à l'autre , & de pouvoir rendre ces sortes d'instrumens comparables ; sans cet avantage , que les hygromètres à cordes n'auront probablement jamais , ils ne méritent gueres qu'on les compte au nombre des instrumens météorologiques.





X. LEÇON.

Sur la nature & les propriétés de l'Air.

IL est peu de matieres dont la con-
noissance nous intéresse autant
que celle de l'air : ce fluide, dans le-
quel nous sommes plongés dès l'in-
stant de notre naissance, & sans le-
quel nous ne pouvons vivre, mérite
sans doute l'attention de tous les
êtres pensans qui le respirent : son
action continuelle sur nos corps a
beaucoup de part aux différens états
qu'ils éprouvent ; nous avons sans
cesse quelque chose à espérer ou à
craindre des changemens dont il est
susceptible. C'est par les propriétés
& par les influences de l'air, que la
nature donne l'accroissement & la
perfection à tout ce qu'elle fait naître
pour nos besoins & pour nos usages :
c'est par l'air qu'elle transporte &
qu'elle distribue les sources de la fé-
condité aux différentes parties de la

X.
LEÇON.

X.
LEÇON.

terre. L'air agité est, pour ainsi dire ; l'ame de la navigation : par le moyen du vent , des vaisseaux qu'on pourroit regarder comme autant de villes flottantes, passent d'un bord à l'autre de l'Océan ; & l'on voit tous les jours en commerce des nations qui sembloient devoir s'ignorer perpétuellement, eu égard à la distance des lieux. Le son , la voix, la parole même ne sont qu'un air frappé , un souffle modifié , qui devient le véhicule de nos pensées , & qui a le pouvoir d'exciter & de calmer les passions (a). Tant de merveilleux effets ne peuvent s'apprendre avec indifférence : l'esprit qui est capable de les admirer , ne peut être insensible au plaisir d'en connoître les causes.

En quelqu'endroit qu'on se transporte sur la terre , soit qu'on change de climat , soit qu'on s'éleve des lieux les plus bas à la cime des plus hautes montagnes , on se trouve toujours dans l'air ; on ne connoît aucun lieu ni aucun temps où ce fluide ait

(a) *Ipse aer nobiscum videt , nobiscum audit ; nobiscum sonat ; nihil enim eorum sine eo fieri potest.* Cic. de Nat. Deor. lib. 2. cap. 33.

manqué : cette considération nous autorise à croire que le globe que nous habitons est entouré d'air de toutes parts : & cette espece d'enveloppe que l'on nomme communément l'*Atmosphere*, a des fonctions si marquées, elle a tant de part au mécanisme de la nature, qu'on ne peut point douter qu'elle n'ait commencé avec la terre, & qu'elle ne doive durer autant qu'elle.

En qualité d'atmosphere terrestre, l'air a des propriétés qui ne lui appartiennent plus, lorsqu'on n'en considère qu'une petite portion, & que l'on fait abstraction de tout ce qui pourroit s'y mêler d'étranger. Comme ces propriétés ne sont, pour ainsi dire, qu'accidentelles, & qu'elles ne procèdent pas directement de la nature de l'air, mais plutôt de sa quantité, de la figure de sa masse, de son mélange avec d'autres corps, &c. je crois qu'il est à propos de commencer par établir celles qu'il a toujours en qualité d'air, & indépendamment des conditions dont nous venons de parler.

X.
LEÇON.

PREMIERE SECTION.

De l'Air considéré en lui-même , indépendamment de la grandeur & de la figure de sa masse.

IL est presque inutile de dire que l'air est une substance matérielle : si l'on excepte les enfans qui n'ont point encore fait usage de leur raison , ou des hommes grossiers & sans éducation qui n'ont jamais réfléchi sur les choses les plus communes , il n'y a personne maintenant qui ne reconnoisse dans ce fluide les principaux attributs qui caractérisent les corps , l'étendue , la divisibilité , la résistance , &c. Tout le monde sait qu'il peut recevoir & transmettre le mouvement ; & si l'on dit qu'un vase est vuide quand on en a répandu l'eau , c'est une expression autorisée par l'usage , mais dont on reconnoît généralement la fausseté ou le peu de justesse.

Les Auteurs anciens , comme les modernes , ont reconnu que l'air est une matière. Ceux d'entr'eux qui

l'ont qualifié d'*esprit*, ont sans doute employé ce terme dans le sens figuré, pour exprimer la subtilité de ce fluide, ou pour faire entendre combien il est nécessaire, pour la vie des animaux, & pour l'accroissement des plantes; ou s'il faut prendre cette expression littéralement, on a tort de traduire le mot latin *Spiritus* par celui d'*Esprit*: il signifie également un souffle, un air agité; & l'on doit croire qu'aucun Physicien ne l'a entendu autrement. Au reste l'autorité n'a point de force lorsqu'elle se trouve en contradiction avec l'expérience: l'usage de l'éventail fait sentir la résistance de l'air aux personnes mêmes qui cherchent le moins à s'en convaincre; & lorsque nous avons prouvé l'im-pénétrabilité des corps en général, les expériences que nous avons employées ont fait connoître spécialement celle de l'air.

Quelques Physiciens * ont pensé que l'air pourroit bien n'être autre chose qu'un mélange des particules les plus subtiles qui s'exhalent de tous les autres corps, & qui étant trop divisées pour reprendre leur première

X.
LEÇON.

* Otto de
Guerike, *Ex-
per. novæ
Magdeb. lib.
2. c. 1. &
lib. 4. c. 1.
Boyle, Exp.
Phys. Mech.
edit. Genev.
1677. p. 69.*

X. forme, demeurent sous celle d'un fluide particulier qu'elles composent; mais outre que cette opinion n'est appuyée sur aucune preuve, l'air a des propriétés constantes, des caractères inaltérables par lesquels il se fait toujours connoître, & qui ne manqueroient pas de varier selon les circonstances du temps & du lieu, s'il étoit vrai qu'ils dépendissent de la décomposition de plusieurs matieres & de l'assemblage de tant d'extraits. Il est donc plus naturel de penser que l'air est une espèce de substance particulière, dont la nature est fixe, que ses parties intégrantes sont homogènes, ou que ses principes sont unis de tout temps, pour ne céder à aucun des efforts que nous pourrions faire pour le décomposer.

La fluidité de l'air est telle qu'on ne la voit jamais cesser, tant que ses parties se touchent, & que leur contiguité n'est point interrompue par une trop grande quantité de matiere étrangere. Nous voyons communément des liqueurs se glacer par le froid; certains fluides comprimés ou condensés cessent de couler, & se fixent

sous la figure qu'on leur fait prendre ; mais dans quelque climat & dans quelque saison que ce soit, on ne voit jamais aucune partie de l'atmosphère devenir solide ; & la compression la plus forte qu'on ait jamais employée, n'a pû durcir ou fixer l'air. La fluidité est-elle donc de son essence ? est-il absolument impossible qu'il la perde ? c'est ce que l'on ne voit pas ; mais aussi ce seroit une témérité d'avancer le contraire, sans en apporter des preuves.

Cette fluidité si constante de l'air viendrait-elle de la seule subtilité de ses parties, comme l'a pensé un favant Chymiste * ? c'est ce que l'on ne présuamera pas, si l'on fait attention que l'eau, & quelques autres liqueurs, qui cessent d'être fluides par un grand froid, passent au travers de certains corps que l'air ne peut jamais pénétrer ** ; car si la ténuité des parties étoit capable d'entretenir constamment la fluidité, ou l'eau ne devroit pas se glacer plus que l'air, ou l'air, qui ne se glace jamais, devroit avoir des parties plus fines, plus pénétrantes que ne le sont celles de l'eau. Or c'est un fait constaté par

X.
LEÇON.

* Boerhaave
Chemia, tom.
1. p. 320.

** Boyle ;
nov. Exerc.
Phys. Mech.
ed. Genev. p.
108.

X. M. de Reaumur *, que l'air ne passe point au travers du papier mouillé, & de quelques autres matieres qui sont très-propres à filtrer l'eau ; d'où il résulte que les parties de l'air sont plus grossières ou moins subtiles que celles de l'eau, à moins que la figure dans les unes ne compense la ténuité des autres.

LEÇON.
* *Mém. de
l'Académie
des Sciences,*
1714. P. 59.

Il est assez vraisemblable que l'air demeure constamment fluide, parce qu'il est parfaitement élastique : s'il n'étoit que compressible, ses parties rapprochées pourroient peut-être se toucher d'assez près pour former un corps dur, & rien ne les obligeroit à sortir de cet état, comme la neige pressée entre les mains prend la figure & la consistance d'une boule solide : mais le ressort qu'elles ont, tend toujours à raréfier la masse qu'elles composent, parce que la plus forte compression ne peut que le tendre & non pas le forcer ; par ce moyen ces parties conservent cette mobilité respectve en quoi consiste la fluidité.

On peut concevoir les parties intégrantes de l'air comme des petits filamens contournés en forme de spi-

res flexibles & élastiques, & leur assemblage à peu-près comme un paquet de coton ou de laine cardée que l'on peut réduire en un plus petit volume lorsqu'on le presse, mais qui tend toujours à se remettre dans son premier état. Cette idée n'est qu'une esquisse bien grossière de la nature de l'air; & j'avoue qu'il y a peut-être cent contre un à parier, que les parties de cet élément n'ont point la figure que je leur attribue; parce que pour les supposer telles, je n'ai d'autre raison que leur flexibilité & leur ressort, & qu'elles peuvent être élastiques avec cent figures différentes d'un filet spiral: aussi lorsque j'adopte cette hypothèse avec la plupart des Physiciens, je ne prétends point dire ce qu'elles sont, mais seulement ce qu'elles peuvent être; & c'est moins pour prendre un parti sur leur figure, que pour être en état de faire mieux connoître le ressort admirable du fluide qu'elles composent, & quelques autres propriétés dont nous parlerons ci-après.

ON dit communément que l'air est sec; mais pourquoi lui attribue-t-on

X.
LEÇON.

cette qualité? est-ce parce qu'il enlève de la surface des corps l'humidité qui s'y trouve? En effet, il arrive assez souvent qu'il fait l'office d'une éponge; mais aussi dans plusieurs cas il rend humides les corps qu'il touche, parce que les parties aqueuses dont il est toujours plus ou moins chargé, s'attachent à certaines matières plus facilement & plus fortement qu'à l'air même: on expose du linge à l'air pour le faire sécher; mais le même procédé auroit un effet tout contraire à l'égard du sel de tartre ou de quelqu'autre sel; c'est pourquoi les cordes ou les toiles qui ont trempé dans l'eau de la mer se séchent difficilement à l'air, parce que l'eau demeure opiniâtrément attachée aux particules salines qui tiennent à la superficie.

Dira-t-on que l'air est sec, parce qu'il ne mouille pas comme les liquides? alors il faut convenir de ce qu'on doit entendre par le terme de *mouiller*: s'il signifie adhérer à la surface des corps solides, on doit demeurer d'accord que l'air mouille au moins un grand nombre de matières :

res : car c'est un fait certain que si l'on verse dans un vase quelque liqueur qui oblige l'air d'en sortir, il demeure toujours une couche de ce fluide adhérente aux parois ; on ne l'apperçoit pas communément, parce qu'elle est fort mince & transparente ; mais elle devient sensible quand on la dilate, soit qu'on chauffe fortement le vase, soit qu'on le mette dans le vuide : & c'est par cette raison qu'un baromètre qui n'a point été rempli au feu, c'est-à-dire, dont le mercure n'a point bouilli dans le tube, paroît terne ; & qu'on y apperçoit une infinité de petites bulles d'air qui sont demeurées attachées au verre. Si *mouiller* signifie cette impression qui se fait sur la peau lorsque nous touchons une liqueur, impression toujours différente de celle d'un corps solide, parce que les parties mobiles entr'elles & très-déliées, se moulent dans les pores, & procurent un attouchement plus exact & plus complet ; dans ce sens l'air mouille aussi, & si nous nous en appercevons moins, c'est que l'impression qu'il a coutume de faire sur

186 LEÇONS DE PHYSIQUE

X. notre peau nous est plus familiere : sa
LEÇON. façon de mouiller est différente, sans
doute, de celle des liqueurs, comme
celles-ci mouillent aussi différemment
les unes des autres ; l'esprit-de-vin
mouille autrement que l'eau, & l'eau
ne mouille pas comme l'huile ; c'est-
à-dire, que leur application sur la peau
excite des sensations différentes.

DE's que l'on fait par un nom-
bre infini d'observations familiares ,
que l'air est matériel , que ses parties
réunies forment une masse résistante,
mobile , & capable de mouvoir d'au-
tres corps , il est presque superflu d'e-
xaminer s'il est pesant : car quoique
la pesanteur ne soit pas un attribut
essentielle à la matiere , & qu'on puis-
se bien la concevoir sans cette ten-
dance au centre de la terre ; cepen-
dant nous n'avons aucun exemple à
citer qui nous autorise à excepter l'air
de cette loi commune ; & nous de-
vons présumer qu'il y est assujetti
comme les autres corps sublunaires ,
à moins que nous n'ayons des preuves
du contraire.

Mais bien loin d'avoir aucune rai-
son pour attribuer à l'air une légèreté

EXPERIMENTALE. 187
absolue, des faits sans nombre nous
forcent à reconnoître son poids : nous
en avons rapporté plusieurs en traitant de l'hydrostatique; en voici d'autres qui le prouvent directement.

X.
LEÇON,

I. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA Figure 1. représente une de ces pompes que l'on nomme communément, *Machines pneumatiques* : quoique ce nom, à le prendre selon son étymologie, convienne également à toutes les machines qui servent aux expériences qu'on fait sur l'air; cependant par un usage qui a prévalu, il désigne spécialement celle avec laquelle on fait le vuide, c'est-à-dire, avec laquelle on pompe l'air d'un vaisseau, apparemment parce qu'elle a plus de célébrité que les autres, & que par son moyen on a fait un grand nombre de curieuses & utiles découvertes en ce genre. Son premier Auteur fut Otto de Guericke, Consul ou Bourguemestre de Magdebourg, qui commença à la faire connoître à Ratisbonne l'an 1654. Quelques années

188 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON.

après , Boyle en fit construire une à peu-près semblable qu'il a beaucoup perfectionnée depuis. Le grand usage que fit de cette machine le Philosophe Anglois, & le succès de ses expériences, firent perdre de vûe le Magistrat Allemand à qui l'on en doit l'invention, de sorte qu'à présent le principal effet de cette pompe se nomme communément le *Vuide de Boyle*. M. Homberg touché des progrès qu'avoit fait la Physique en Allemagne & en Angleterre, par le moyen de cette ingénieuse machine, & n'ignorant pas de quelle utilité elle pouvoit être entre les mains des Savans, chercha les moyens de la rendre plus exacte qu'elle n'avoit été jusqu'alors; & par ses soins, l'Académie Royale des Sciences, dont il étoit membre, en fit faire une il y a environ 60 ans, que l'on voit encore au Jardin du Roi parmi les instrumens qui lui appartiennent. Enfin depuis que j'ai embrassé une profession qui me rend l'usage de cette pompe aussi fréquent que nécessaire, je me suis appliqué à la rendre telle, qu'elle pût être d'un service plus sûr, plus com-

mode & plus étendu qu'elle n'avoit été précédemment : on pourra juger si j'ai rempli ces trois objets, en lisant dans les Mémoires de l'Académie pour les années 1740 & 1741, les changemens & les augmentations que j'ai faits à cette machine, dont on trouvera l'histoire & la description, avec un détail que je ne puis me permettre ici.

Je dirai seulement, pour faciliter l'intelligence des faits que j'ai à rapporter dans la suite de cette Leçon, que la machine pneumatique dont je me sers est composée de six parties principales; savoir: 1^o, d'un corps de pompe de cuivre *A*: 2^o, d'un piston dont le manche est terminé en forme d'étrier *B*, pour être abaissé avec le pied, & garni d'une branche montante avec une poignée *C*, pour être relevé avec la main: 3^o, d'un robinet dont on voit la clef en *D*: 4^o, d'une platine couverte d'un cuir mouillé, sur lequel on pose le récipient ou la cloche de verre *E*: 5^o, d'un pied *FG*, avec deux tablettes *H*, *H*, qui peuvent se hausser & se baisser à volonté: 6^o, d'un rouet *IKL*, avec lequel on

Fig. X.
LEÇON. peut transmettre un mouvement très-rapide dans un récipient, après qu'on en a pompé l'air.

Comme on ne peut pas faire le vuide d'un seul coup, il faut qu'on puisse remonter le piston sans faire rentrer dans le récipient l'air qu'on en a ôté, & qui a passé dans le corps de la pompe: pour cet effet la clef du robinet est percée de façon qu'en lui faisant faire un quart de tour, on ouvre une communication par laquelle le piston, en se relevant, pousse l'air du dedans au-dehors de la pompe, & l'on ferme en même temps tout accès du côté du récipient: ensuite en remettant la clef dans la première situation, on est en état de donner un nouveau coup de piston.

Les autres fonctions de cette machine dépendent des propriétés mêmes de l'air que je dois faire connoître; c'est pourquoi je diffère d'en parler jusqu'à ce que j'aye donné une idée assez étendue de ce fluide sur lequel elle agit.

La Fig. 2 est un ballon de verre qui contient environ 15 pintes de Paris: le col est garni d'une virolle de cui-

EXPERIMENTALE. 191

vre, & d'un robinet qui s'ajuste à une vis qui excède de quelques lignes la platine de la machine pneumatique au centre, de sorte qu'on peut le vuidier d'air, & le garder en cet état.

X.
LEÇON.

La Fig. 3. est une balance très-mobille à laquelle on met en équilibre le ballon vuide; & pour conserver au fléau une plus grande mobilité par la diminution des frottemens de son axe, on peut peser le ballon dans l'eau, ce qu'il est aisé de faire en y attachant des poids qui l'obligent à se plonger entièrement: alors la balance n'est chargée que de la pesanteur respective du ballon plongé, qui peut être diminuée autant que l'on veut, & du poids que l'on met de l'autre part pour le tenir en équilibre, comme nous l'avons fait voir dans la huitième Leçon, par les expériences qui prouvent la seconde proposition.

E F F E T S.

Lorsqu'on ouvre le robinet du ballon suspendu pour y laisser rentrer l'air, & qu'on le referme ensuite pour le laisser se plonger sans que l'eau y puisse entrer, il se trouve toujours

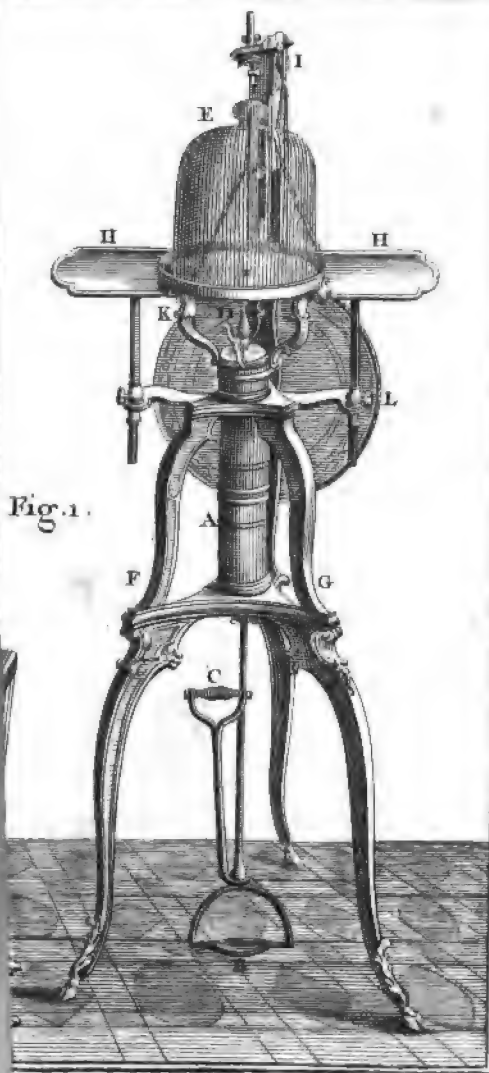
X.
LEÇON. plus pesant que le poids de l'autre part avec lequel il étoit d'abord en équilibre.

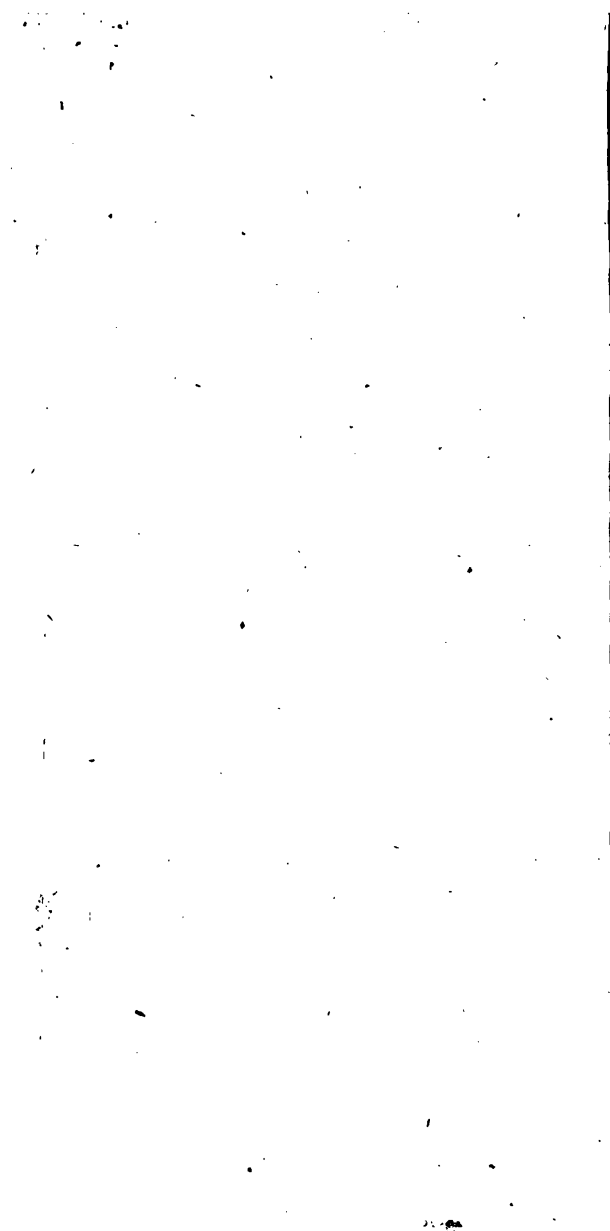
EXPLICATIONS.

Cette expérience est la plus simple & la plus décisive de toutes celles qu'on employe pour prouver que l'air a une pesanteur absolue; car on fait que dans l'usage de la balance ordinaire, un poids ne peut être enlevé que par un plus grand poids; puisque le ballon devient plus pesant dès qu'il s'emplit d'air, c'est une marque certaine que cette augmentation vient du fluide qu'il a reçu.

On dira peut-être que le ballon, en se remplissant, ne reçoit point ce nouveau poids de l'air même qui y rentre, mais plutôt des corps étrangers, & des vapeurs aqueuses dont il est toujours chargé, & qui s'introduisent avec lui.

Quoique cette objection, au premier coup d'œil, ait tout l'air d'une mauvaise difficulté, & qu'elle n'ait arrêté presque personne de ceux qui ont fait ou connu cette expérience avant moi, je ne puis cependant dis-
simuler





Simuler qu'elle m'a paru forte , surtout lorsque j'ai vû , par des épreuves faites en différens tems , qu'un volume d'air de 2 ou 3 pintes pris au hazard dans l'atmosphère , contenoit toujours assez d'eau pour rendre une once de sel de tartre sensiblement humide & plus pesante ; car si l'on joint au poids de cette eau celui des autres matieres qui sont infailliblement répandues avec elle dans le même volume d'air , & que le sel de tartre n'a point absorbées , on pourroit être tenté de croire que de toute la pesanteur du fluide mixte , il n'y a rien qui appartienne aux parties propres de l'air.

X.
LEÇON.

Cette considération a fait dire à M. Boerhaave * que l'air , de même que le feu , pourroit bien ne peser vers aucun point déterminé de l'Univers : je ne me suis point arrêté à cette conjecture ; & bien loin de céder à la difficulté , je me suis mis en état de la combattre par le procédé que voici.

* *Chemiæ*
t. I. p. 267.

Je suspends le ballon plein d'air à la balance , & je le tiens en équilibre dans l'eau avec un poids connu : en-

X.
LEÇON.

suite, sans le changer de situation ; j'applique au robinet un siphon qui répond à la machine pneumatique pour y faire le vuide ; à mesure que je raréfie l'air , je vois tomber au fond du ballon les vapeurs dont il est chargé , & qui ne sont point de nature à se raréfier comme lui & à le suivre ; de cette manière je fais rester dans le ballon (au moins pour la plus grande partie) ces corps étrangers à qui l'on pourroit soupçonner qu'il doit tout son poids , & je suis comme certain que ce qui sort du vaisseau est de l'air pur ; cependant lorsque j'ai fermé le robinet , & que j'essaye de remettre le ballon vuide en équilibre avec le premier poids , je le trouve , à peu de chose près , d'autant plus léger qu'il étoit plus pesant dans la première expérience : d'où il suit incontestablement que l'air par lui-même & indépendamment des vapeurs & des exhalaisons avec lesquelles il se trouve mêlé , augmente le poids d'un vaisseau qu'il remplit.

APPLICATIONS.

PAR le moyen des expériences que

je viens de rapporter , non-seulement on peut s'assurer de la pesanteur absolue de l'air ; mais on peut connoître aussi quelle est sa pesanteur spécifique , en comparant un volume d'air connu dont on fait le poids , avec un pareil volume d'une autre matiere que l'on pèse séparément : un exemple rendra ceci plus intellige.

X:
LEÇON.

Après avoir mis mon ballon plein d'air & plongé dans l'eau en équilibre au bras de la balance , si je le rends plus léger en pompant la plus grande partie de l'air qu'il contient , le poids que j'ajoute ensuite de son côté pour rétablir l'équilibre , est justement celui de l'air qui en est sorti. Je renverse aussi-tôt le ballon dans l'eau , de maniere que l'orifice regarde le fond du vaisseau , & j'ouvre le robinet ; alors le poids de l'atmosphère pousse dans le ballon un volume d'eau qui égale celui de l'air qu'on a ôté : je ferme le robinet ; je remets le ballon dans sa premiere situation , & je charge le bassin de la balance , jusqu'à ce que tout soit en équilibre ; le poids que je suis obligé d'y mettre , est celui du volume d'eau qui est entré

X.
LEÇON.

dans le ballon : ainsi en comparant les deux poids , je vois le rapport qu'il y a entre deux volumes égaux d'air & d'eau. En procédant ainsi , M. Hauxbée a trouvé que la pesanteur spécifique de l'air est à celle de l'eau , à peu-près comme 1 est à 885.

Au récit de ces expériences , on croiroit volontiers qu'il n'y a rien de plus facile à faire que cette comparaison du poids de l'air à celui d'un autre fluide par le moyen de la balance ; cependant on n'en vient à bout qu'avec beaucoup de soins ; & quelques précautions que l'on prenne , il reste toujours de l'incertitude dans le résultat.

La difficulté vient 1^o , de ce que tous les fluides , & généralement tous les corps se dilatent par la chaleur , & se condensent par le froid , de sorte que l'air & l'eau que l'on compare dans le mois de Juin n'ont pas la même densité qu'au mois de Janvier : cet inconvénient ne seroit pas d'une si grande conséquence , si ces matières , en se dilatant ou en se condensant , gardoient toujours entr'elles le même rapport ; mais il s'en faut bien

que cela soit, & ce n'est point une petite affaire que de bien connoître les variations qu'elles éprouvent selon leurs différentes températures.

X.
LEÇON.

2°. Comme il n'y a point d'air parfaitement pur , aussi n'y a-t-il point d'eau qui ne contienne quelque chose d'étranger ; & quoi qu'en disent quelques Auteurs , il y a bien des eaux , qui , au même degré de chaud & de froid , diffèrent sensiblement de pesanteur entr'elles. Or s'il est nécessaire de savoir quelle eau ou quel air on a pesé , pour conclure avec précision le rapport de l'une à l'autre , on ne peut donc prononcer en général qu'un à peu-près.

3°. Les variations du baromètre nous apprennent que la pression de l'atmosphère n'est pas toujours la même ; & nous verrons bien-tôt que l'air change de densité selon qu'il est plus ou moins comprimé. Il peut donc arriver que le volume d'air mesuré par la capacité du ballon , soit plus pesant dans un tems que dans un autre ; c'est pourquoi M. Hauxbée , dans le récit de son expérience , n'a omis ni la hauteur actuelle du mer-

X. cure dans le baromètre (a), ni la
LEÇON. saison dans laquelle il a opéré ; au
 lieu de citer seulement le mois (b),
 il auroit sans doute désigné la tem-
 pérature par le degré du thermome-
 tre, s'il y en avoit eu alors de com-
 parables comme à présent.

4°. Pour comparer exactement le
 poids de l'air avec celui de l'eau , il
 faut qu'en plongeant l'orifice du bal-
 lon où l'on a fait le vuide, il y rentre
 justement autant d'eau qu'il en est
 sorti d'air, sans quoi ce ne seroit plus
 comparer ensemble deux volumes
 égaux. Mais on fait que quand une
 liqueur se trouve dans le vuide, l'air
 qu'elle contient s'en dégage, & s'é-
 leve au-dessus : c'est le cas où se trou-
 ve l'eau qui commence à monter dans
 le ballon ; elle blanchit par la quanti-
 té des bulles d'air qui s'en échappent ;
 & cet air occupant la partie supérieu-
 re du vaisseau , empêche qu'il ne re-
 çoive autant d'eau qu'il devroit y en
 entrer, eû égard au vuide qu'on y
 avoit fait. Il faudroit donc avoir

(a) 29 p. $\frac{1}{2}$, mesure d'Angleterre , c'est-à-
 dire un peu moins que 28 pouces de France.

(b) Mai.

bien purgé d'air l'eau dont on veut se servir dans cette expérience ; & c'est ce qu'il ne paroît pas qu'on ait fait jusqu'à présent ; d'où il suit que l'on a conclu la pesanteur spécifique de l'air un peu plus petite, qu'elle n'est en effet.

X.
LEÇON.

On ne doit donc pas être surpris de trouver si peu d'accord entre les Auteurs qui ont tenté ces sortes d'expériences, sur-tout dans des temps où les procédés étoient d'autant plus difficiles, qu'on étoit moins instruit des faits, & qu'on n'avoit pas les moyens dont on peut s'aider maintenant. Galilée établit le rapport de l'air à l'eau comme 1 à 400 ; le Pere Mersene comme 1 à 1346 : quelle différence ! De tous les Physiciens qui ont cherché depuis à résoudre cette question, personne n'a trouvé l'air aussi pesant qu'il le feroit suivant le premier de ces résultats, ni aussi léger qu'il paroît l'être par le dernier (a) : & si l'on prend un milieu entr'eux,

(a) Boyle dans ses Expér. Physicoméch. conclut que l'eau commune est 938 fois plus pesante que l'air : & dans d'autres endroits, il varie sur cette estimation. M. Homberg.

X.
LEÇON.

il paroît assez constant que l'eau de pluie est environ 900 fois plus pesante que l'air, l'un & l'autre étant pris dans une température moyenne, comme de 12 degrés au-dessus du terme de la glace, le barometre étant à 28 pouces.

Comme les volumes sont en raison réciproque des pesanteurs spécifiques, il faudroit donc un volume d'air d'une densité uniforme & égal à 900 pieds cubes, pour faire équilibre à un pied cube d'eau qui pèse environ 70 livres; d'où il suit que la pesanteur absolue d'un pied cube d'air, est à peu près une once & deux gros (a).

La pesanteur de l'air étant une fois connue, on ne doit plus être surpris de sentir la main s'attacher sur un petit récipient ouvert par le haut, lorsqu'on y fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique : car tant

comme il paroît par l'hist. de l'Ac. des Sciences, après avoir aussi changé plusieurs fois d'avis, a donné le rapport de l'air à l'eau . comme 1 à 1087; M. Halley, comme 1 à 860; M. Hauxbée comme 1 à 885; M. Muschenbrock comme 1 à 681.

(a) Wolf. Elem. Aërom. p. 741. dit qu'un pied cube d'air pèse une once 27 grains.

que le vase est plein d'un air aussi dense que celui de l'atmosphère, la main se trouve appuyée non-seulement sur les bords, mais encore sur la masse du fluide qui est renfermé, & qui résiste à la pression extérieure; mais quand on a fait le vuide, la main, toujours pressée par l'air du dehors, ne se trouve plus soutenue que par les bords du récipient; & pour l'en séparer, il faudroit faire de bas en haut un effort capable de soulever la colonne d'air qui pèse dessus. Or le poids de cette colonne égale celui d'un cylindre de mercure qui auroit pour base le plan qui est terminé par les bords du récipient, & 27 à 28 pouces de hauteur, comme on l'a vû par la fameuse expérience de Toricelli*.

X.
LEÇON.

* 7. Leçon
p. 275.

Il suit de-là que cette pression est d'autant plus grande & plus sensible, que le récipient a plus d'ouverture par en haut; c'est pourquoi la main y tient bien davantage que le bout du doigt, lorsqu'on le pose sur le trou même qui est au centre de la platine; & par la même raison, une clef forée que l'on succe, & qui s'attache ensuite à la langue ou à la lèvre, s'en

X.
LEÇON.

détache d'autant plus difficilement que le tuyau est plus gros.

Quand on fait ainsi le vuide sous la main , ou sous quelqu'autre partie du corps , on doit avoir soin que les bords du récipient ne soient pas trop aigus ; car ils pourroient bien entamer la peau : on peut en faire l'épreuve avec la moitié d'une pomme ou avec une tranche de navet ; au premier coup de piston , il arrive presque toujours qu'il s'en détache un cercle qui entre dans le vase avec impétuosité & avec bruit.

Cette adhérence que l'on peut faire naître par la pression de l'air extérieur, pourroit être employée fort utilement dans la Chirurgie : je ne parle point de la ventouse qui est si connue , & dont l'usage est maintenant assez négligé en France ; mais n'y auroit-il pas des occasions où l'on auroit besoin de saisir , pour un peu de temps , une partie délicate , qui , par sa figure , par son volume , ou par sa mollesse , ne donne point de prise aux tenettes & autres instrumens ? une petite pompe dont l'orifice formé en pavillon , pourroit être de telles dimen-

sions , & garni de telle maniere qu'on le jugeroit à propos pour l'opération , deviendroît un moyen sûr & avantageux entre les mains d'un homme intelligent ; c'est aux gens de l'art à juger de l'application qu'on en pourroit faire.

X.
LEÇON.

Il semble d'abord que cette pression extérieur de l'air , qui vient de son poids , devroit écraser les cloches de verre , dont on couvre la platine de la machine pneumatique pour faire le vuide ; mais pour peu qu'on y fasse attention , on verra que ces vaisseaux , étant toujours uniformément arrondis en forme de cylindre ou de voûte , sont à l'abri de cet accident : comme la surface extérieure est nécessairement plus grande que celle du dedans , toutes les parties qui composent l'épaisseur , ressemblent à celles dont on fait les cintres ; ce sont autant de coins ou de pyramides tronquées , qui se soutiennent mutuellement , à mesure qu'elles sont pressées vers un axe ou un centre commun , par l'action d'un fluide qui pèse en tout sens. On peut voir par la Fig. 4. l'épaisseur d'un récipient coupé se-

lon son axe, & par la *Fig. 5.* le même vaisseau coupé parallèlement à sa base.

X.
LEÇON.

Ce qui prouve bien que la forme arrondie défend les vaisseaux contre le poids de l'air, lorsqu'ils en sont vuides, c'est qu'ils se cassent infailliblement, quand ils ont une autre figure. Que l'on applique à la machine pneumatique celui qui est représenté par la *Fig. 6.* il est ouvert de part & d'autre, comme le petit récipient sur lequel on applique la main : mais au lieu de le boucher ainsi, on étend & on lie dessus un morceau de vessie mouillée qui lui sert de fond, & qu'on laisse sécher ; à mesure qu'on fait agir la pompe dessous pour le vuidier, le poids de l'air extérieur fait prendre à cette vessie tendue la forme d'une calotte renversée, & enfin elle creve avec éclat. Un morceau de verre de vitre, ou de glace de miroir, que l'on poseroit en la place de cette vessie, se briseroit de même, s'il étoit exactement appliqué sur les bords du vaisseau, par le moyen d'un cuir interposé, ou autrement. Les bouteilles de verre mince qui sont fort appla-

ties , & ordinairement couvertes d'osier , crevent assez souvent , quand on les porte à la bouche à demi-pleines de liqueur , pour boire à même ; car la succion raréfie l'air intérieur , & le poids de l'atmosphère agissant sur les deux côtés plats , les porte l'un vers l'autre , & brise le vaisseau.

Ces sortes d'épreuves , & sur-tout celle de la vessie , causent toujours quelque étonnement aux personnes qui les voyent pour la première fois , par le grand bruit qui les accompagne. Cet effet vient de ce que l'air entre avec une grande vitesse (a) & tout à la fois en grand volume , dans un vaisseau vuide dont il frappe les parois : car le bruit vient primitivement du choc des corps , comme nous le ferons voir par la suite ; & les fluides sont très-capables de heurter les solides.

On remarque quelque chose de semblable , lorsqu'on tire brusquement le couvercle d'un étui à cure-

(a) Selon M. Papin , l'air de l'atmosphère en rentrant dans le vuide , va avec une vitesse qui lui feroit parcourir 1305 pieds dans une seconde. *Abrég. de Lowtorps*, T. 1. p. 586.

 X.
LEÇON.

dents, d'une écritoire de poche, ou le piston hors d'une seringue qui est bouchée par l'autre bout ; c'est qu'alors on fait une sorte de vuide que l'air du dehors se hâte de remplir, dès que l'accès lui est libre : car pendant qu'on ouvre l'étui, la capacité *AB*, *Fig. 7.* s'augmente de la quantité *BC*, & l'air intérieur en devient d'autant plus rare ; puisqu'au lieu d'être contenu entre *AB*, comme il l'étoit dans son état naturel, il s'étend jusques en *C* : mais ceci s'entendra encore mieux, quand nous aurons expliqué de quelle manière l'air se raréfie, lorsqu'on fait usage de la machine pneumatique.

LA densité de l'air, d'où dépend sa pesanteur spécifique, n'est point constante, elle varie beaucoup, non-seulement par le froid & par le chaud, comme il arrive à toutes les autres matières, mais aussi par une compression plus ou moins grande à la manière des corps à ressort. Je dis à la manière des corps à ressort, parce que pendant tout le temps que l'air est comprimé, il conserve constamment la faculté de s'étendre & d'occuper

un plus grand espace, aussi-tôt que l'on fait cesser les causes qui resserrent son volume, comme le crin, la laine, le duvet de plume, &c. avec cette différence cependant, que toutes ces matieres perdent leur élasticité en tout ou en partie, quand elles sont trop fortement ou trop longtemps comprimées, au lieu que l'air se rétablit toujours parfaitement; au moins peut-on dire qu'il n'y a jusqu'à présent aucun fait connu qui prouve le contraire (a).

X.
LEÇON.

L'air se comprime lui-même par son propre poids, de sorte que celui que nous respirons dans la plaine, est plus dense que celui qu'on trouve sur une montagne; parce que celui-ci est chargé d'une colonne moins longue que celui-là.

Mais de quelque maniere que l'air soit comprimé, son ressort fait toujours équilibre à la puissance qui restreint son volume, de maniere que

(a) M. de Roberval a gardé pendant 15 ans de l'air comprimé dans une canne à vent; & après cet espace de temps, l'air a montré dit-il, autant de force qu'il a coutume d'en avoir, en pareil cas,

X.
LEÇON.

si sa réaction devient libre, il pourra faire, en qualité de fluide élastique, tout ce qu'auroit pû faire la force qu'on a employée pour le comprimer : les expériences suivantes serviront d'éclaircissement & de preuves à ces propositions.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

EF *G*, *Fig. 8.* est un tuyau de verre recourbé en forme de siphon, dont la plus longue branche a environ 8 pieds de longueur, & la plus courte 12 pouces, à compter de *d* en *G* : ce tuyau peut avoir intérieurement 3 ou 4 lignes de diamètre, & la partie *d* *G* doit être parfaitement cylindrique ; il est ouvert en *E*, & fermé en *G* ; & il est attaché solidement sur une planche assez épaisse pour ne point plier facilement, & divisée en pouces de *d* en *E*, & de *d* en *G*. Cet instrument étant debout, on y fait couler un peu de mercure, de manière que le coude en soit rempli : on continue ensuite de verser du mercure dans la branche la plus longue ; & à mesure

EXPERIMENTALE. 209

mesure qu'elle s'emplit , on observe , par les divisions qui sont marquées de part & d'autre , quels rapports gardent entr'elles les élévations du mercure dans les deux branches.

X.
LEÇON.

E F F E T S.

Lorsque le mercure est élevé de 4 pouces au-dessus du point *d* dans la plus courte branche ; à compter du niveau de cette élévation , il s'en trouve 14 pouces dans la plus longue.

En continuant de verser du mercure, on remarque que 6 pouces d'élévation vers *G* , répondent à 28 pouces de l'autre part ; & 9 pouces à 84.

E X P L I C A T I O N S.

Avant que de faire couler du mercure dans l'instrument, toute sa capacité est remplie d'un air qui est comprimé par le poids même de l'atmosphère : en mettant du mercure dans le coude *d* , on divise cet air en deux colonnes , dont une *Ed* , souffre toujours la même compression de la part de l'air extérieur, avec qui elle com-

X. **LEÇON.** munique : & l'autre *d G* doit être considérée comme un ressort précédemment tendu par le poids de l'atmosphère : tant que le mercure est en équilibre avec lui-même dans la ligne *d h*, cette petite colonne d'air faisant aussi équilibre par son ressort à l'autre, qui pèse en *d*, son volume ne doit ni augmenter ni diminuer ; mais lorsqu'on ajoute du mercure dans la plus longue branche, il ne s'élève pas également dans la plus courte, parce que l'air qui s'y trouve renfermé, lui fait obstacle. Cette opposition cependant n'empêche pas qu'il ne soit restraint dans un plus petit espace, parce qu'alors il est pressé, non-seulement par le poids de l'atmosphère, comme auparavant, mais encore par une colonne de mercure dont la hauteur ne doit se compter que du niveau de son élévation dans la plus courte branche, puisque ce qu'il y en a au-dessous de cette ligne est égal de part & d'autre.

On doit se souvenir qu'en parlant du bārometre *, nous avons observé qu'une colonne de mercure d'environ 28 pouces de hauteur ; pèse au-

* Tome II.
VII. Leçon, p.
295. & suiv.

EXPERIMENTALE. 211

tant qu'une colonne d'air de même base, & de la hauteur de l'atmosphère : 14 pouces de mercure ajoutés au poids de l'air extérieur augmentent donc d'un tiers la pression qu'il exerce contre celui qui est entre *G d*; voilà pourquoi le volume de cette portion d'air se condense, & que ce cylindre, au lieu de demeurer long d'un pied, diminue de 4 pouces, qui sont le tiers de sa première longueur.

Par la même raison, lorsque la colonne de mercure est de 28 pouces au-dessus de son niveau, le poids de l'atmosphère est doublé, & l'air qui soutient cette double compression, ne forme plus qu'un cylindre de six pouces de hauteur; c'est-à-dire, que son volume diminue de moitié.

Enfin 84 pouces de mercure font trois colonnes l'une sur l'autre de 28 pouces chacune, dont la somme égale trois fois le poids de l'atmosphère, & qui doivent par conséquent faire perdre les trois quarts de son volume à la colonne d'air *d G* qu'elles compriment; ainsi cette colonne de 12 pouces se réduit à trois.

Sij

X. :
LEÇON.

X.
LEÇON.

* *Contra Li-*
num, p. 42.

** *Oeuvres*
de M. Mariotte, in-4. T.
I. p. 153.

* *Hist. de*
l'Ac. 1702.
P. 2.

Cette expérience que l'on doit à Boyle * & à M. Mariotte **, prouve fort bien, comme on voit, que l'air comprimé diminue de volume comme la pression augmente : & puisque la densité d'une matiere croît à mesure que ses parties se rapprochent & qu'elles occupent ensemble un moindre espace, on peut dire que l'air se condense, en raison directe des poids dont il est chargé. Cependant il est assez raisonnable * de croire que cette proportion n'a pas lieu dans les degrés extrêmes, ou bien il faudroit supposer gratuitement, que l'air eût à cet égard un privilège exclusif ; car nous ne connoissons aucun corps élastique qui puisse être comprimé à l'infini, & toujours proportionnellement aux puissances dont il éprouve l'action. D'ailleurs comme l'air n'est jamais pur, & que les matieres dont il est chargé, ne sont pas compressibles comme lui, on doit croire, qu'après une compression très-grande, ses parties cesseroient d'être flexibles, parce qu'elles seroient appuyées sur des corps étrangers, dont la nature est de ne céder à aucune force connue.

POUR faire avec exactitude l'expérience que je viens de rapporter, il faut 1°. Que les deux branches de l'instrument soient parallèles entr'elles, & les tenir dans une situation bien verticale pendant qu'on observe les élévations du mercure; car comme les liquides présentent en raison de leur hauteur perpendiculaire à l'horison, si ces branches étoient penchées, la pression ne seroit pas comme la longueur des colonnes qu'elles renferment. 2°. Il faut prendre garde d'échauffer ou de refroidir le volume d'air contenu dans la branche *d G*; car il changeroit de dimensions, indépendamment de la pression qu'il souffre de la part du mercure, & de l'air extérieur. 3°. On doit avoir soin que la branche courte soit intérieurement bien cylindrique; car autrement des parties égales mesurées sur sa longueur, ne donneroient pas des capacités semblables, & l'on ne pourroit pas conclure avec justesse, le degré de condensation de l'air par le raccourcissement de la colonne, qu'il représente à mesure que la compression augmente.

X.
Laçon.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

II, Fig. 9. représente un seau rempli d'eau, dont on observe la température par le moyen d'un thermomètre qu'on y plonge ; on assujettit dans ce premier vaisseau, avec un poids ou autrement, une bouteille dont l'orifice *LL* est fort large : on prépare ensuite un bouchon de liege que l'on perce au milieu pour recevoir le tube du baromètre *K M*, & l'on place l'un & l'autre de façon que la partie inférieure du baromètre soit dans la bouteille ; après quoi l'on verse sur le bouchon de la cire fondue & mêlée de térébenthine, pour empêcher qu'il n'y ait aucune communication entre l'air du dedans & celui du dehors ; mais de peur que la chaleur de la cire n'échauffe l'air intérieur, & n'en change la densité, il faut pratiquer au travers du bouchon & de son enduit, un petit canal que l'on ne ferme que quand tout est bien refroidi : alors on marque avec un index à quelle hauteur le mercure se tient dans le baromètre.

Non-seulement le mercure ne hausse ni ne baisse au moment qu'il est renfermé : mais quoique par la suite il fasse appercevoir ces sortes de variations suivant la température du lieu où il est ; toutes les fois qu'on le rappelle au degré de chaud ou de froid qu'il avoit dans le vaisseau *II*, où s'est faite la préparation, le mercure se remet à la hauteur indiquée par l'index ; & cet effet est toujours le même après plusieurs années.

E X P L I C A T I O N S.

Un instant avant qu'on ferme la bouteille, l'air qu'elle contient communiquant avec celui du dehors, fait encore partie de l'atmosphère, en soutient la pression, & la transmet en s'appuyant contre les parois intérieures du vaisseau, & contre tout ce qui s'y trouve renfermé ; cet air agit alors comme pesant sur le réservoir du baromètre, & soutient le mercure à 28 pouces. Aussi-tôt que la bouteille est bouchée, cette même masse d'air n'a plus que son propre poids, qui est

X.
LEÇON.

bien peu de chose en comparaison de celui de l'atmosphère, à qui elle étoit jointe précédemment ; mais elle reste comprimée selon toute la force de ce poids dont elle n'est plus chargée, & sa réaction est égale à cette force ; c'est pourquoi elle soutient, en qualité de corps à ressort, les 28 pouces de mercure qu'elle portoit, lorsqu'elle pesoit avec l'air extérieur.

Il suit de cette épreuve que non-seulement le ressort de l'air est égal à la force qui l'a comprimé ; mais on voit aussi que cette élasticité ne s'affoiblit pas, comme celle des autres corps, par succession de temps, puisque le mercure se soutient, ou revient toujours au même degré d'élevation, quoique pendant plusieurs années on tienne la même masse d'air en expérience.

IV. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

LA Fig. 10. représente deux hémisphères concaves de cuivre, & de 6 pouces de diamètre, dont l'un est garni d'un robinet, par lequel il peut s'ajuster

Fig. 5.

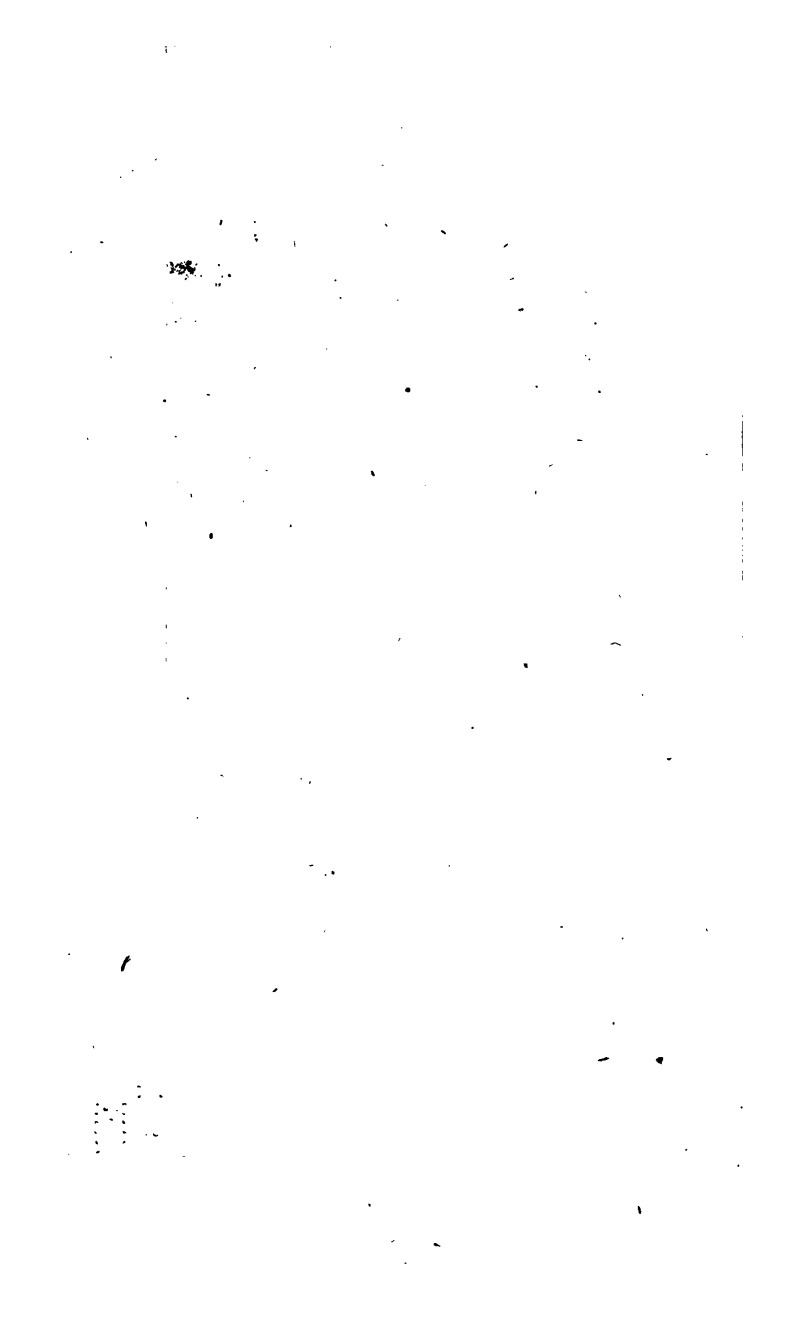


Fig. 9.



Fig. 6.





s'ajuster à la machine pneumatique : & l'autre porte un anneau au milieu de sa convexité, pour être facilement suspendu. Ces deux calottes se joignent en forme de globe ; & pour rendre la jonction plus facile & plus exacte, l'une des deux a ses bords garnis d'un anneau plat dont la largeur excède autant en-dedans qu'en dehors ; on le couvre d'un cuir mouillé sur lequel s'appliquent les bords de l'autre hémisphère, qu'on a eu soin de bien dresser.

Tout étant ainsi disposé, on fait le vuide dans cette boule creuse, & l'on ferme le robinet pour la tenir en cet état ; lorsqu'elle est détachée de la machine pneumatique, on joint au robinet un crochet de métal capable de porter un poids de 60 livres, & l'on attache l'anneau à quelque point fixe.

EFFETS.

Quand ces deux hémisphères ainsi joints sont suspendus, comme on le peut voir par la *Fig. 11.* le poids de 60 livres qu'on y attache, n'est pas capable de les séparer l'un de l'autre ;

X. & quand on ouvre le robinet pour
LEÇON. laisser rentrer l'air, la moindre force
 les désunit.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

QUAND les deux hémisphères sont attachés ensemble par l'évacuation de l'air, au lieu de les ôter de la machine pneumatique, il faut seulement dévisser deux ou trois tours, le robinet par lequel ils sont appliqués à la pompe, afin qu'on puisse faire le vuide dans un récipient dont on les couvrira. Ce vaisseau doit être ouvert par le haut, & garni d'une boîte de cuir rempli de cuirs gras pressés les uns sur les autres, au travers desquels on fait passer une tige de métal bien arrondie & bien cylindrique. Cette tige porte d'un côté un anneau par lequel on la peut faire mouvoir de bas en haut & en tournant ; & à son autre bout on ajuste un crochet qui s'engage dans l'anneau de la calotte supérieure, comme il est représenté par la *Fig. 12.*

Par le moyen de cette boîte à

cuirs, lorsqu'elle est bien faite, on peut transmettre toutes sortes de mouvemens dans le vuide, sans que l'air y rentre, au moins d'une quantité sensible. Il est inutile de dire, qu'au lieu du crochet dont on se sert dans cette expérience, on peut ajuster au bout de la tige tout autre instrument dont on aura besoin selon les circonstances.

X.
LEÇON.

EFFETS.

Quand on a raréfié l'air du récipient à un certain degré, & que l'on tire la tige de la boîte à cuirs, de bas en haut, les deux hémisphères se séparent sans peine; & si l'on remet en place celui qu'on a soulevé, en faisant rentrer l'air dans le récipient, on les attache aussi fortement qu'ils l'étoient avant qu'on les plaçât dans le vuide.

EXPLICATIONS.

Les deux hémisphères ne s'attachent point ensemble tant que l'air qui s'y trouve renfermé demeure dans son état naturel, c'est-à-dire, aussi dense que celui du dehors, parce

X.
LEÇON.

que l'effort qu'il fait pour s'étendre & pour écarter ces deux calottes qui lui font obstacle, est précisément égal à celui de l'atmosphère qui les presse extérieurement ; chacune d'elles se trouve en équilibre entre deux puissances de même valeur.

Mais quand cet air intérieur se trouve raréfié par l'action de la pompe, la force de son ressort en est d'autant affoiblie ; l'équilibre est rompu, & l'adhérence des deux hémisphères est proportionnelle à la différence qu'il y a entre la densité de l'air qui presse extérieurement, & celle de l'air qui résiste en dedans ; de sorte que si celui-ci pouvoit être réduit à zéro, il faudroit employer, pour séparer ces deux pièces, un effort un peu plus grand que le poids d'une colonne entière de l'atmosphère, dont la base auroit six pouces de diamètre, ce qui seroit plus de 400 livres ; en supposant seulement, selon l'évaluation commune, qu'une colonne de l'atmosphère fait une pression de 12 livres sur un espace circulaire d'un pouce de diamètre.

Lorsqu'on a placé la boule vuidée

Sous un récipient qui lui ôte toute communication avec l'atmosphère, ce n'est plus, à la vérité, le poids de cet atmosphère, qui retient les deux hémisphères l'un contre l'autre; mais c'est la réaction d'une masse d'air comprimé précédemment par ce poids, & qui est capable des mêmes effets: c'est pourquoi ces deux pièces ne se séparent facilement, que quand on a détendu le ressort de l'air environnant, en diminuant sa densité par plusieurs coups de piston, jusqu'à ce qu'il soit autant raréfié que celui qui reste dans la boule.

X.
LEÇON.

Si l'air, en rentrant dans le récipient, trouve les deux hémisphères rejoints de manière qu'il ne puisse pas s'y introduire & s'y étendre comme dans le reste du vaisseau, il les presse de nouveau l'un contre l'autre, par la même raison qu'ils avoient été d'abord attachés, & avec autant de force, s'il y a la même différence entre les deux airs, celui du dehors & celui du dedans.

APPLICATIONS.

C'EST en conséquence des principes dont ont vient de voir les preuves,

222 LEÇONS DE PHYSIQUE

X. LEÇON.

que le vuide se fait dans un vaisseau , par le moyen de la machine pneumatique : car en abaissant le piston d'un bout à l'autre de la pompe , on fait naître un espace sans air , dans lequel celui du récipient ne manque pas de s'étendre en vertu de son élasticité ; mais une masse d'air qui se partage ainsi à deux espaces , devient nécessairement plus rare dans chacun des deux ; c'est pourquoi le poids de l'atmosphère produit en même temps les deux effets suivans : 1°. il attache le récipient à la platine , comme on a vu qu'il fait tenir ensemble les deux hémisphères de métal : 2°. si l'air extérieur ne peut pas rentrer par le haut de la pompe , ce même poids de l'atmosphère remonte le piston en partie , c'est-à-dire , jusqu'à ce que l'air qui est dans la pompe soit aussi dense que celui de dehors.

Ce dernier effet mérite attention : bien des gens se dégoûtent de la machine pneumatique simple , par la difficulté qu'ils trouvent à remonter le piston : on s'épargne une grande partie de cette peine quand on fait la clef du robinet de façon que l'air

puisse bien passer du dedans au-dehors de la pompe, mais non pas réciproquement : car avec cette précaution*, le piston se relève comme de lui-même; & il reste peu de chose à faire, sur-tout lorsqu'on approche des derniers degrés de la raréfaction.

X.

LEÇON.

* Voyez les
Mémoires de
l'Acad. pour
l'ann. 1749.
p. 413.

Quant à l'adhérence du récipient à la platine; elle augmente à mesure que l'air se raréfie; & cette raréfaction, à chaque coup de piston, suit le rapport des capacités. Si, par exemple, celle de la pompe est égale à celle du récipient, au premier coup, la densité de l'air diminue de moitié, parce que son volume devient double, puisqu'il remplit deux espaces semblables à celui qu'il occupoit d'abord : au second coup, il se raréfie encore dans la même proportion, & par conséquent sa densité est réduite au quart, & ainsi de suite; d'où il paroît qu'une machine pneumatique, quelque parfaite qu'elle puisse être, ne peut jamais évacuer parfaitement l'air du récipient, puisque la densité de cet air diminue toujours en proportion géométrique. En un mot, pour ne point se faire une idée fausse

X.
LEÇON.

du vuide qui se fait ainsi, on doit considérer le récipient comme étant toujours plein, mais d'un fluide dont la densité diminue de plus en plus, jusqu'à ce que le ressort de ses parties soit autant détendu qu'il peut l'être, dans un espace où il est peu gêné : je dis peu gêné, pour ne pas dire absolument qu'il ne l'est plus; car il paroît qu'il l'est encore, quand on a épuisé tous les efforts de la meilleure machine pneumatique, comme on le verra par ce qui va suivre.

Que la raréfaction de l'air, dans le récipient, soit proportionnelle au rapport qu'il y a entre la capacité de ce vaisseau & celle de la pompe; c'est un fait dont il est facile de s'assurer par l'expérience. Que l'on adapte un barometre à un récipient, dont la capacité soit à celle de la pompe, par exemple, comme 2 à 1, & qu'on l'applique à la machine pneumatique de la maniere qu'on le voit par la *Fig. 13.* au premier coup de piston la densité de l'air sera diminuée d'un tiers; aussi le mercure descendra d'un tiers de sa hauteur; en partant de 27 pouces, il sera donc à 18 : au second

Coup , l'air sera d'un tiers encore plus rare qu'il n'étoit après le premier coup ; & le mercure descendra aussi du tiers de 18 pouces , c'est-à-dire , à 12 ; & toujours ainsi de la troisième partie du dernier restant.

Ce fait étant bien constaté , on pourra donc trouver tout d'un coup le rapport des capacités entre un récipient quelconque , & la pompe à laquelle on l'applique ; & si l'on connoît la grandeur absolue de l'une des deux , cette comparaison fera connoître l'autre : car premièrement , si le mercure descend au premier coup de piston du quart de sa hauteur , on peut conclure en toute sûreté , que la capacité du récipient est à celle de la pompe , comme 3 est à 1 ; & 2°. si l'on sait d'ailleurs que la pompe tient une pinte , on saura de cette manière que le récipient en tient trois : cette façon de jauger les vaisseaux , pourroit trouver des applications utiles.

On peut aussi , par ce moyen , estimer les degrés de raréfaction de l'air ; & il y a long-temps qu'on applique pour cet effet le baromètre à la ma-

X.
LEÇON.

chine pneumatique : mais comme d'ordinaire on n'a besoin de connaître au juste l'état de l'air, que quand il approche des derniers degrés de raréfaction, on peut alors se dispenser d'employer un baromètre entier, qui seroit trop casuel & toujours fort embarrassant; puisque dans un air très-raréfié le mercure ne garde que quelques pouces ou quelques lignes de hauteur, on peut regarder le reste du tuyau qui demeure vuide au-dessus comme inutile, & le supprimer : par ce moyen on a un baromètre tronqué qui n'est autre chose qu'un petit siphon renversé, dont la plus longue branche que l'on emplit de mercure, est scellée hermétiquement par le haut; & que l'on attache debout sur un petit pied de plomb avec une règle de bois mince & graduée en pouces & en lignes. *Voyez la Fig. 14.*

Mais soit qu'on se serve de cette espèce de jauge, soit qu'on emploie le baromètre entier, on ne voit jamais descendre le mercure parfaitement à son niveau; il demeure toujours élevé un peu au-dessus, s'il n'y

a point d'ailleurs quelques causes étrangères*. On ne doit pas s'en prendre au poids de l'air qui reste dans le récipient : la colonne qui répond à celle du mercure est trop courte, & sa densité est trop diminuée pour avoir une pesanteur sensible ; mais il est naturel de penser que quand l'air est extrêmement raréfié, son ressort quoique suffisant encore pour soutenir une ligne de mercure, est déjà trop affoibli pour forcer les frottemens & les vapeurs grasses qui s'opposent à son passage dans le canal étroit du robinet. C'est une petite imperfection dont les machines pneumatiques les mieux faites ne sont point exemptes ; mais ce défaut ne tire point à conséquence ; & quand elles n'ont que celui-là, on peut toujours réduire la densité de l'air à $\frac{1}{336}$ de celle qu'il a quand le baromètre marque 28 pouces ; car une bonne pompe abaisse le mercure à-peu-près à une ligne de son niveau, & 28 pouces donnent 336 lignes.

Si l'on entend bien de quelle manière l'air agit, soit par son poids, soit par son ressort, on expliquera facilement une infinité de faits cu-

ESX.
L'ON.
* Voyez les
Mémoires de
l'Acad. des
Scienc. pour
l'an. 1741,
p. 345.

X.
LEÇON.

rieux que l'usage des machines pneumatiques, & la facilité que l'on a acquise de faire le vuide, ont donné occasion de connoître.

Une vessie dans laquelle on enferme un peu d'air, & que l'on tient dans le vuide, ne manque pas de s'enfler, parce que ce peu d'air qu'elle contient, se raréfie lui-même, à mesure que celui qui l'environne perd de sa densité: & en pareil cas un plomb qui pèseroit 12 ou 15 livres ne l'empêcheroit pas de s'enfler, parce qu'il ne seroit point équivalent à la pression de l'air qu'on fait cesser d'agir autour d'elle dans le récipient.

Par la même raison, une bouteille de verre mince & pleine d'air que l'on a bien bouchée, creve dans le vuide, parce que rien ne fait plus équilibre au ressort de l'air qu'elle contient, & qui fait un effort continuel pour se déployer.

Un œuf placé dans un gobelet se vuide par un fort petit trou que l'on fait en sa partie inférieure, quand on raréfie l'air qui l'environne; il se remplit aussi par le même trou quand on laisse rentrer l'air dans le récipient;

C'est qu'un œuf, sur-tout s'il est vieux, contient de l'air qui surnage dans l'endroit le plus élevé de la coque, à cause de sa légèreté : cet air s'étend & chasse devant lui la matière propre de l'œuf, à mesure qu'on diminue la pression de l'air extérieur avec lequel il étoit d'abord en équilibre ; dès qu'on rend l'air dans le récipient, sa pression fait rentrer tout ce qui est sorti de la coque, & resserre l'air intérieur dans le premier espace qu'il occupoit.

Cette explication devient sensible, si dans une phiole pleine d'eau dont on plonge l'orifice dans un vase, on laisse une bulle d'air qui ne manque pas d'occuper la partie supérieure, & qu'on fasse passer le tout dans le vuide. Voyez la Fig. 15. Car, à mesure qu'on raréfie l'air du récipient, on voit que la bulle s'étend de plus en plus (a), & qu'elle précipite l'eau qui est renfermée avec elle jusqu'au

(a) Par une pareille expérience, M. Mariotte conclut que l'air, en partant de l'état où il est à la surface de la terre, peut remplir un espace 4000 fois plus grand que celui qu'il a coutume d'occuper. *De la nature de l'Air*, p. 473.

X.
LEÇON.

dessous du niveau; après quoi si l'air vient à rentrer dans le récipient, la liqueur remonte, & l'air reprend son premier volume au-dessus d'elle.

Une vieille pomme se déride dans le vuide, parce que l'air qui est sous la peau s'étend & la soulève; mais elle devient plus ridée qu'auparavant quand elle sort du vuide, parce que l'air qu'elle contenoit en se mettant au large, en est sorti en partie, & qu'il en reste d'autant moins, pour résister à la pression de l'air extérieur, ce qui fait augmenter les plis de la peau.

Il seroit superflu de rapporter ici toutes les expériences de cette espèce qui ont été faites, & qui feroient plutôt un spectacle agréable & amusant, qu'un concours de preuves nécessaires pour confirmer ou pour éclaircir les principes, que nous croyons avoir établis assez solidement: il suffit qu'on entende bien quelques-uns de ces faits; tous les autres deviennent faciles à expliquer.

MAIS après avoir fait connoître le ressort de l'air tendu par le poids de l'atmosphère, & les différens degrés

de raréfaction dont ce fluide est susceptible , en partant de l'état où il est communément à la surface de la terre, il est à propos maintenant de faire voir combien on peut augmenter sa densité & son ressort , lorsqu'on le soumet à une pression plus grande que celle de l'atmosphère.

VI. EXPERIENCE.

P R E P A R A T I O N .

LA Fig. 16. représente un vaisseau de cuivre que l'on remplit d'eau environ jusqu'aux deux tiers de sa capacité : on y joint ensuite le canal *NO*, garni d'un robinet qui s'ajuste à vis au vaisseau , & dont le bout inférieur *O*, qui est ouvert, descend à une ligne près du fond. On adapte en *N*, la petite pompe foulante *PR*, Fig. 17. avec laquelle on fait entrer à force beaucoup d'air ; après quoi le robinet étant fermé , on ôte la pompe pour visser en sa place un ajutage percé d'un ou de plusieurs trous.

La pompe prend l'air par un trou pratiqué en *P*, au-dessus duquel on élève le piston ; & ce même piston ,

232 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON.

en descendant, le force de passer par un petit trou pratiqué au fond, & sur lequel on a mis une soupape en-dehors, pour empêcher que l'air ne revienne dans la pompe quand on élève de nouveau le piston.

E F F E T S.

Dès que l'on ouvre le robinet, l'eau sort du vaisseau en forme de jet, qui monte d'abord à la hauteur de 25 ou 30 pieds, & qui baisse sur la fin.

E X P L I C A T I O N S.

La quantité d'air qu'on force d'entrer dans le vaisseau remonte d'abord à travers l'eau, à cause de sa légèreté, & va se joindre à celui qui occupe la place *LQ*, dont il augmente d'autant la densité: cet air ainsi comprimé a une force élastique beaucoup plus grande que le poids de l'air extérieur qui résiste à l'orifice *N* du canal. Cette force se déploie sur la surface de l'eau, & la chasse par le canal qui est ouvert, avec d'autant plus de vitesse qu'il y a de différence entre la densité de l'air qui est renfermé dans le vaisseau, & celle de l'air extérieur: & comme ces
air

l'air qui chasse l'eau se trouve plus au large à mesure que le vaisseau se vuide, son ressort s'affoiblit de plus en plus ; & par cette raison le jet en devient moins élevé vers la fin.

X.
LEÇON.

Si l'on avoit lieu de douter que l'effet dont il s'agit ici ne vînt, comme nous le disons, d'un défaut d'équilibre entre l'air du vaisseau & celui du dehors ; il seroit aisé de s'en convaincre par une expérience assez jolie, & qui mérite d'être rapportée.

On peut cimenter un tuyau de verre, qui finisse en pointe à une bouteille de même matière, de sorte qu'elle soit en petit ce qu'est en grand le vaisseau de cuivre de l'expérience précédente : si l'on renverse cette bouteille dans un gobelet plein d'eau, & qu'on couvre le tout d'un récipient sur la platine d'une machine pneumatique, comme dans la *Fig. 18.* à mesure qu'on fera le vuide, on verra sortir de la bouteille une partie de l'air qui formera des bouillons dans l'eau du gobelet ; & ensuite lorsqu'on laissera rentrer l'air dans le récipient, sa pression poussera dans la bouteille autant d'eau qu'il en sera sorti d'air

234 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON.

Je ne m'arrête point à expliquer ces deux premiers effets, on doit les entendre par ce qui a été dit ci-dessus. Mais si l'on redresse la bouteille, comme dans la *Fig. 19.* & qu'on raréfie de nouveau l'air du récipient, celui qui est au-dessus de l'eau venant à se raréfier lui-même, fera naître un jet qui s'élèvera d'autant plus, qu'on aura rompu davantage l'équilibre entre les deux airs. Ici ce n'est pas l'air comprimé artificiellement qui force la résistance du poids de l'atmosphère, comme dans l'expérience précédente; mais c'est le ressort naturel de ce fluide que l'on met en état d'agir, en affaiblissant celui qui lui résiste à l'orifice de la bouteille: c'est toujours un air plus fort contre un air plus foible, en un mot, de l'eau entre deux portions d'air qui ne sont plus en équilibre.

VII. EXPERIENCE.

P R E P A R A T I O N .

La *Fig. 20.* représente une espèce d'arquebuse composée de deux canons de métal, placés l'un dans l'au-

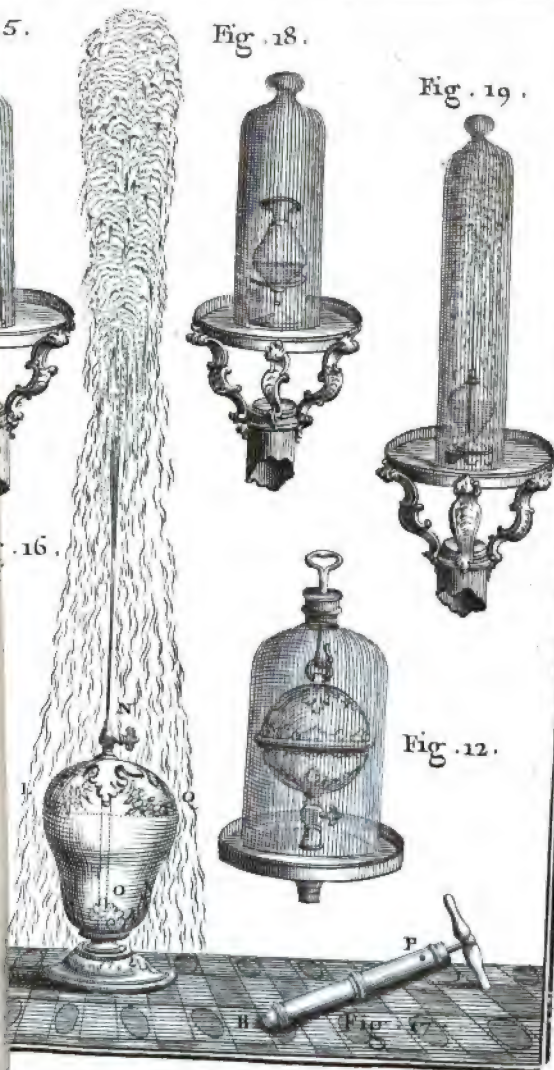
15.

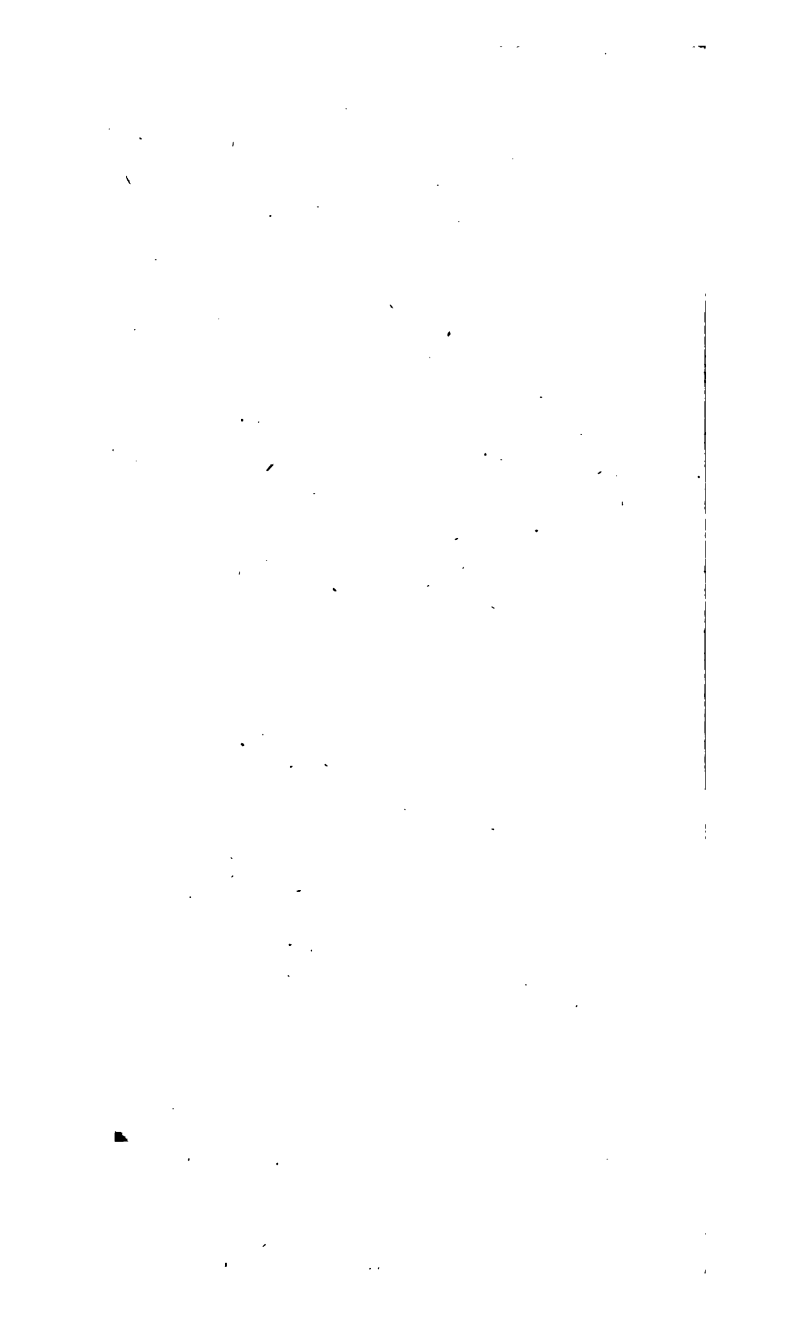
Fig. 18.

Fig. 19.

16.

Fig. 12.





tre, & entre lesquels il reste un espace bien fermé où l'on condense fortement l'air par le moyen d'une petite pompe foulante qui est logée dans la crosse. Il y a deux soupapes ; savoir, une au bout de la pompe, pour empêcher que l'air n'y revienne, quand on tire le piston ; & l'autre au bout du canon intérieur du côté de la culasse, où l'on a soin de placer une balle de calibre. La dernière de ces soupapes se leve par le moyen d'une détente, pour laisser passer l'air dans le petit canon, & se referme très-promptement, pour n'en faire échapper qu'une partie. Comme ces sortes d'armes ne sont pas fort en usage, j'ai fait construire celle dont je me sert, de maniere qu'on ne courût aucun risque en mettant les balles, & qu'on pût les ôter de même, sans être obligé de décharger l'air ; pour cet effet, il y a un canal ou réservoir qui contient 12 balles, & une espee de robinet que l'on tourne, pour les placer successivement dans la direction du petit canon, ou pour les déplacer si l'on ne veut pas tirer. Pour conserver à cet instrument toute la forme ex-

X.
LEÇON.

36 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON.

térieure d'un fusil , on l'a garni d'une platine dont la batterie sert à tourner la clef du robinet , & le mouvement du chien fait lever la soupape.

E F F E T S.

Le chien étant armé , dès qu'on le détend , la balle est chassée avec tant de force , qu'on peut l'ajuster assez bien à 70 pas dans un cercle d'un pied de diamètre.

Les derniers coups ont toujours bien moins de force que les premiers : mais communément le huitieme perce encore une planche de chêne épaisse de 6 lignes , & placée à la distance de 20 ou 25 pas.

L'air & la balle , en sortant , font peu de bruit , sur-tout si le lieu où l'on est , n'est point fermé ; ce n'est qu'un souffle violent qu'on entend à peine à 30 ou 40 pas,

E X P L I C A T I O N S.

Après l'explication que j'ai donnée de l'expérience précédente , la seule préparation de celle-ci , doit suffire pour en faire entendre les effets : l'air condensé entre les deux

Canons fait effort pour en sortir ; dès qu'on lui donne son passage par le petit canon, il emporte tout ce qu'il y rencontre : la balle reçoit donc une vitesse presque égale à celle avec laquelle cet air commence à s'échapper. Mais comme la soupape ne demeure ouverte qu'un instant, il ne s'en échappe à chaque fois qu'autant qu'il en faut pour faire partir une balle : cependant les dernières sont poussées plus foiblement, parce que le ressort de l'air diminue à mesure que ce qu'il en sort lui laisse plus de place pour s'étendre. Le bruit est incomparablement plus foible que celui d'une arme à feu ; parce que ni la balle, ni l'air qui la pousse, ne frappent jamais l'air extérieur avec autant de violence & de promptitude qu'une charge de poudre enflammée, dont l'explosion se fait toujours avec une vitesse extrême. L'arquebuse à vent se fait pourtant plus entendre dans un lieu fermé, que dans un endroit découvert, parce qu'alors la masse d'air qui est frappée étant appuyée & contenue par des murailles ou autrement, fait une plus grande résistance.

X.

LEÇON.

LES fusils , pistolets , ou cannes à vent , sont des instrumens plus curieux qu'utiles ; la difficulté de les construire , celle de les entretenir long-temps en bon état , les rend nécessairement plus chers , & d'un service moins commode & moins sûr que les fusils à poudre ordinaires : le seul avantage qu'on y pourroit trouver , je veux dire celui de frapper sans être entendu , pourroit devenir dangereux dans la société ; & c'est une précaution fort sage de restreindre le plus qu'il est possible l'usage de ces sortes d'instrumens. Ceux qui les aiment en parlent souvent avec enthousiasme , & leur font plus d'honneur qu'ils n'en méritent , en leur attribuant des effets dont ils ne sont pas capables : il n'est point vrai , par exemple , qu'ils ayent jamais autant de force qu'une arme à feu ; & c'est une chose fort rare que les soupapes tiennent l'air assez constamment , pour les garder long-temps chargés.

Si les histoires qu'on fait de la pou-

dre blanche ont quelque réalité , on doit sans doute les entendre dans le sens figuré , du fusil à vent , qui est capable de porter un coup assez meurtrier sans faire un bruit considérable ; car comme le bruit d'un fusil ne vient point de la couleur de la poudre , mais qu'il est une suite nécessaire de l'explosion subite dont elle est capable , on doit croire que toute matiere qui se dilatera avec la même vitesse , qu'elle soit blanche ou noir , éclatera de même.

Quant aux fontaines artificielles où l'eau reçoit son mouvement du ressort de l'air , on les peut varier de cent manieres différentes , plus curieuses & plus agréables les unes que les autres : elles le sont d'autant plus qu'on y voit l'eau s'élever au-dessus de sa source , tout au contraire des jets ordinaires , qui se font , comme on fait , par une chute d'eau , dont le réservoir est plus haut. Je me contenterai d'un seul exemple , pour ne point m'arrêter infructueusement à des choses qui se trouvent dans tous les livres de Physique.

La fontaine qui est représentée par

240 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON.

la *Fig. 21.* porte le nom d'Hero , à qui l'on en attribue l'invention ; on la construit communément de deux bassins ou boîtes de métal que l'on joint par des tuyaux de même matière : celle-ci est faite de verre , afin qu'on en apperçoive mieux le mécanisme : la matière & la forme extérieure sont tout-à-fait indifférentes , on les peut varier selon son goût. Pour mettre cette fontaine en jeu , j'emplis d'eau jusqu'aux trois quarts le globe *AB* , par le canal *CD* , qui est ouvert de part & d'autre ; j'en mets ensuite dans le bassin *GH* , pour tenir toujours plein le tuyau *IK* , qui est ouvert d'un bout à l'autre. Cette colonne d'eau qui tend à se répandre dans le globe inférieur *EF* , charge de tout son poids la masse d'air dont il est plein : cet air ainsi comprimé s'échappe par le canal *LM* , & exerce sa pression sur la surface de l'eau qui est en *AB* ; & enfin cette eau pressée par l'air , s'élance en forme de jet par le canal *CD* , au bout duquel , on met un ajutage percé , si l'on veut , de plusieurs trous pour former une gerbe d'eau.

Il suffit de mettre d'abord un peu d'eau dans le bassin pour emplir le tuyau *IK*; le jet qui naît aussi-tôt, fournit assez pour l'entretenir plein, & l'écoulement qui se fait ainsi du globe *AB*, retombe dans celui d'enbas, que l'on vuide après l'opération par une espee de robinet qui est dessous.

X.
LEÇON.

On fait usage aussi du ressort de l'air comprimé, pour rendre continuel l'écoulement d'une pompe qui n'a qu'un piston : supposons, par exemple, que la pompe aspirante & foulante *nop*, *Fig. 22.* soit enveloppée d'un vaisseau cylindrique de métal, qui forme autour d'elle un espace bien fermé *QRS*, qui communique avec le tuyau montant *TV*.

Quand l'eau élevée par l'aspiration sous le piston sera forcée ensuite par la compression de passer par la soupape qui est en *o*, non-seulement elle s'élèvera dans le tuyau, mais elle montera aussi vers *QR*, dans l'espace qui est autour de la pompe, & en s'élevant ainsi elle tendra le ressort de l'air qui sera entr'elle & le fond de cette cavité. C'est pourquoi

X.
Leçon.

pendant qu'on remontera le piston , pour faire une nouvelle aspiration , la réaction de cete masse d'air comprimé suppléera à la pression du piston , & fera continuer l'écoulement en *V*.

Par ce moyen on gagne certainement en vitesse ; car le tuyau *TV* , fournissant de l'eau sans interruption , il en passe une plus grande quantité dans un certain temps : mais cet avantage ne s'acquiert qu'aux dépens de la force , qui doit être plus grande de la part du moteur , puisqu'il en faut non-seulement pour porter le poids de l'eau qui pèse en *T* , mais aussi pour comprimer l'air dont on veut tendre le ressort. Au reste il y a bien des cas où il est important de fournir de l'eau sans interruption ; & c'est pour cette raison que l'on construit ainsi ces petites pompes portatives si fort en usage en Angleterre , en Hollande , & depuis quelques années à Paris , avec lesquelles chaque particulier peut arrêter au moins le progrès d'un incendie naissant , en attendant des secours plus puissans.

Depuis l'invention de la machine

pneumatique, on a fait une grande quantité d'expériences dans le vuide ou dans l'air raréfié à différens degrés : il étoit naturel de penser qu'il y en avoit beaucoup à faire aussi dans l'air condensé au-dessus de ce qu'il l'est communément, & plusieurs Physiciens ont déjà mis la main à l'œuvre. On se sert, pour ces sortes d'épreuves, d'un vaisseau capable d'une grande résistance, & l'on y fait entrer de l'air à force avec une petite pompe semblable à celle dont nous avons fait usage ci-dessus pour la fontaine de compression *. Mais l'air qui passe ainsi par une pompe se charge de vapeurs grasses & humides ; & il y a bien des cas où il seroit à souhaiter qu'il fût plus pur, afin que ce qui résulte de l'expérience ne puisse être attribué à rien autre chose qu'au degré de compression qu'on lui a fait prendre, à la densité de sa propre matière. Cette considération m'a fait imaginer une nouvelle machine, avec laquelle on pourra comprimer l'air, sans diminuer le degré de pureté qu'il a dans l'atmosphère, ou même en l'augmentant : lorsque

X.
LEÇON.

* Fig. 17.

X.
LEÇON.

j'y aurai mis la dernière main, si elle en mérite la peine, j'en ferai part au public dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, à la suite des instrumens qui servent aux expériences de l'air, dont j'ai commencé la description.

Il paroît par les expériences de Boyle, qu'on peut, par compression, rendre le volume d'une masse d'air 13 fois plus petit qu'il n'est dans son état naturel à la surface de la terre. D'autres Philosophes ont porté depuis cette épreuve plus loin par différens procédés : celui qui paroît avoir le plus fait à cet égard, est M. Hales, qui dit * avoir réduit l'air à la 1837^e. partie de son volume ordinaire (a) ; surquoi M. Muschenbroek fait une réflexion qui paroît fort judicieuse. « L'air, par cette expérience, est devenu, dit-il, plus

* Stat. des
végét. dans
l'append. p.
390.

(a) Il y a de l'obscurité dans le calcul de M. Hales ; M. de Buffon son traducteur trouve qu'il faut corriger le résultat, en comptant 1551, au lieu de 1837. Par la traduction Italienne que Mademoiselle Ardinghelli a faite de ce même ouvrage, il paroît que M. Hales a compté avoir réduit l'air à la 1598^e. partie du volume qu'il a dans l'atmosphère.

» de deux fois aussi pesant que l'eau ;
 » ainsi comme l'eau ne peut être com-
 » primée, il paroît de-là que les par-
 » ties aériennes doivent être d'une
 » nature bien différente de celle de
 » l'eau ; car autrement si l'air étoit de
 » même nature, on n'auroit pu le ré-
 » duire qu'à un volume 800 fois plus
 » petit ; il auroit donc été alors pré-
 » cisément aussi dense que l'eau , &
 » il auroit aussi résisté à toutes sortes
 » de pressions avec une force égale à
 » celle qu'on remarque dans l'eau. »

X.
 LEÇON.

M. Hales à cette occasion propose une espece de jauge, propre à mesurer les hauteurs de la mer ; mais comme la regle de M. Mariotte sur la condensabilité de l'air , n'est juste que dans les degrés moyens de compression , & qu'on ne sait point en quelle proportion ce fluide se comprime dans les degrés extrêmes, cette jauge ne pourroit pas avoir lieu.

M. Amontons, bien loin de révoquer en doute cette grande condensabilité de l'air , l'a supposée bien avant qu'on la connût par expérience , comme un principe par lequel on peut expliquer, selon lui, certains

246 LEÇONS DE PHYSIQUE .

X.
LEÇON.

mouvemens intestins de notre globe ; car après avoir prouvé que le ressort de l'air animé par la chaleur , est d'autant plus fort que ce fluide a plus de densité , il ne doute pas que les tremblemens de terre ne puissent être excités par des masses d'air souterrain qui se dilatent , & il fait voir que la partie inférieure d'une colonne de l'atmosphère prolongée de 18 lieues vers le centre de la terre , auroit , à cette profondeur , une densité égale à celle du mercure *.

* *Mem. de l'Académie*,
1703. p. 101.

LES expériences précédentes & les observations que nous y avons jointes , ont appris comment l'air change de densité , & de quelle manière son ressort augmente ou diminue par une pression plus ou moins grande : il reste à savoir maintenant , quels effets produisent le chaud & le froid sur ce fluide.

Ce n'est point ici le lieu d'examiner quelle est la nature du feu , ni comment il agit sur les corps ; ces questions seront traitées dans la suite de cet ouvrage avec l'étendue qui leur convient ; nous dirons seulement par anticipation , & pour faci-

litter l'intelligence des effets que nous avons à expliquer présentement, 1°. que le froid n'est, ni un être réel, ni une qualité positive, mais seulement l'état d'un corps qui est actuellement moins chaud qu'il ne l'a été ou qu'il ne le peut être, de sorte qu'il n'y a rien dans la nature qui soit absolument froid : la glace, par exemple, n'est froide que par comparaison à l'eau dont elle est formée, ou à quelque corps plus chaud qu'elle ; c'est une vérité que nous développerons davantage dans la suite, & que nous appuierons de toutes les preuves nécessaires. 2°. On peut considérer la chaleur, comme l'effet d'une matière extrêmement subtile, dont l'abondance ou l'action tient écartées les unes des autres les parties propres du corps qu'elle pénètre, & leur communique une partie de son mouvement.

En se représentant la chaleur sous cette idée, on concevra facilement deux effets très-remarquables qu'elle produit dans une masse d'air, & que nous allons faire connoître par des expériences. Le premier de ces effets

248 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON. est, qu'elle en augmente le volume, c'est-à-dire, qu'une même quantité d'air est capable d'occuper plus ou moins de place, quand elle est plus ou moins échauffée; le second effet de la chaleur de l'air, est d'augmenter son ressort, à proportion de la pression dont il est chargé, de sorte qu'un même degré de chaleur appliqué à un même air doublement ou triplement condensé, lui donne un ressort double ou triple, comme on le verra par le détail des faits qui vont être rapportés.

VIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

PARMI plusieurs tubes de verre, tels que ceux dont on fait les baromètres, il en faut choisir un qui ait environ un pied ou 15 pouces de longueur, & qui soit par-tout d'un diamètre égal; ce que l'on connoîtra facilement, en faisant aller d'un bout à l'autre une petite colonne de mercure: car si elle est toujours de la même longueur dans tous les endroits du tube où elle se trouvera, c'est

EXPERIMENTALE. 249

une marque que la capacité est égale dans toutes les parties semblables. Ensuite il faut sceller hermétiquement une des extrémités, & le placer sur des charbons ardens, pour le faire chauffer jusqu'à rougir; alors on le prend avec des pincés pour plonger promptement le bout qui est ouvert, dans du mercure bouillant, & on laisse le tout refroidir. *Voyez la Fig. 23.*

Pour donner un degré de refroidissement connu, on met pendant quelques minutes le bout qui est scellé, dans de la glace pilée, observant néanmoins que le tube soit dans une situation presque horizontale, afin que l'air qui y reste ne soit presque point comprimé par le poids du mercure qui le tient enfermé.

E F F E T S.

Le tube rougi au feu, & plongé dans le mercure, s'en remplit en partie; & quand il a été quelque temps dans la glace, la portion d'air qui est contenue entre le bout scellé & le mercure, occupe à peu-près le tiers de la longueur du tuyau.

X.
Leçon.

X.

LEÇON.

Le tuyau de verre , avant que d'être chauffé , étoit rempli d'une colonne d'air semblable à celui de l'atmosphère : les parties de cette matière qui fait la chaleur , quelle qu'elle soit , ayant pénétré le verre , & s'étant mêlées avec l'air , ont écartée les parties propres de ce fluide , & son volume , pour cette raison , s'est augmenté considérablement ; mais comme la capacité du tuyau ne s'est point aggrandie proportionnellement , une grande partie de l'air en est sortie , & le tube est resté plein d'un peu d'air très-raréfié , & d'une grande quantité de la matière du feu.

Ce tube ayant été plongé dans le mercure , a commencé à se refroidir , c'est-à-dire , que cette matière étrangère qui avoit pénétré le verre pour se mêler avec l'air , s'est évaporée , ou qu'elle a perdu peu à peu la plus grande partie de son mouvement , ce qui a donné lieu aux parties de l'air de se rapprocher ; d'autant plus que le poids de l'atmosphère appuyant sur la surface du mercure , l'a obligé

d'entrer dans ce tube, & des'y avancer, jusqu'à ce que le peu d'air qui y étoit resté, eût acquis par une diminution suffisante de son volume, assez de densité pour lui résister.

X.
LEÇON.

On voit donc par oette expérience, qu'une certaine quantité d'air qui a la température de la glace & qui est soumise au poids de l'atmosphère, n'a que le tiers du volume qu'elle a sous la même pression, mais dans une chaleur capable de faire rougir le verre; ou, ce qui est la même chose, que le volume de l'air dilaté par ce degré de chaleur est à celui qu'il a dans le froid de la glace, comme 3 à 1.

Par des expériences à peu-près semblables, on a trouvé que le volume de l'air lorsqu'il commence à geler, est à celui qu'il a dans la chaleur de l'eau bouillante, comme 2 à 3, & qu'il se dilate environ d'un septième à compter depuis le froid de la glace commençante, jusqu'à nos chaleurs communes d'été, qui sont à peu-près de 25 degrés au thermomètre de M. de Réaumur.

Mais dans ces sortes d'expériences, sur-tout lorsqu'on chauffe l'air consi-

X.
LEÇON.

dérablement, on trouve souvent des différences bien considérables, suivant l'état actuel de l'air sur lequel on opere, ou des vaisseaux qu'on emploie; car c'est un fait, que l'humidité se joignant à l'air que l'on fait chauffer, elle occasionne une dilatation, qui est quelquefois 10 ou 12 fois plus grande qu'elle ne seroit avec le même degré de chaleur, si l'on employoit un air plus sec.

D'ailleurs, comme l'air est plus dense ou plus comprimé dans un tems que dans un autre, les résultats varient aussi selon la hauteur actuelle du baromètre, qu'on ne doit pas négliger de consulter en pareil cas.

APPLICATIONS.

C'EST en dilatant l'air par une chaleur violente, que l'on fait crever avec éclat ces petites empoules de verre minces, qu'on souffle à la lampe d'un émailleur, & qu'on scelle hermétiquement: l'effet en est plus sûr & plus grand, quand on y renferme une petite goutte d'eau, non-seulement parce que l'humidité procure une plus grande dilatation, mais aussi

parce que la fraîcheur de la liqueur empêche que le verre ne s'amollisse au grand feu, & ne se prête sans rompre, à l'extension du fluide renfermé. Quand on met ces pétards à la bougie pour surprendre quelqu'un, on doit craindre que les éclats de verre ne sautent aux yeux, & n'incommodent ceux qui ne sont point en garde. Les châtaignes ou les marons qui crevent sous la cendre chaude, ne sont pas si dangereux, mais c'est encore un effet qui dépend de la même cause; l'air renfermé sous l'écorce se dilate, & la fait crever, quand on n'a point pris la précaution de l'entamer; plus elle résiste, plus sa rupture est éclatante.

X.
LEÇON.

Dans la première leçon *, j'ai fait mention d'une petite cassiolette de verre que j'ai supposé être en partie pleine d'une liqueur odorante; mais je n'ai point dit alors comment on s'y prend pour emplir ce petit vase, dont le col & l'orifice sont tellement étroits, qu'il n'y a pas moyen de penser à faire usage d'un entonnoir. On vient facilement à bout de cette opération, si l'on chauffe cette petite

* Prem. Seff.
III. Exp. 2.
27.

X.
LEÇON.

bouteille, & qu'on plonge aussi-tôt son ouverture dans la liqueur qu'on y veut introduire ; car en dilatant l'air par la chaleur, on en fait sortir une grande partie, & ce qui reste, venant ensuite à se condenser à mesure qu'il se refroidit, laisse un vuide où le poids de l'atmosphère porte la liqueur, comme il est arrivé à l'égard du tube qui a été employé dans l'expérience précédente.

C'est aussi de cette manière qu'on emplit les verres des thermomètres, dont les tuyaux sont ordinairement si menus, qu'on ne pourroit jamais y faire entrer la liqueur par tout autre moyen, à moins que d'y employer beaucoup de tems. La dilatation de l'air même, ne seroit encore qu'un moyen imparfait dans ces sortes de cas où il s'agit d'emplir entièrement le vaisseau, puisqu'une très-grande chaleur ne peut faire sortir qu'environ les deux tiers de l'air; mais on y en joint un autre dont nous parlerons par la suite, & qui procure une évacuation d'air beaucoup plus complète.

A propos des thermomètres, ce-

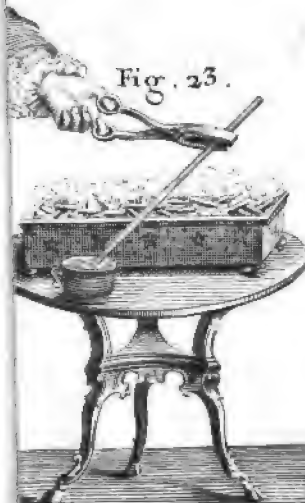
g. 24.



Fig. 22.

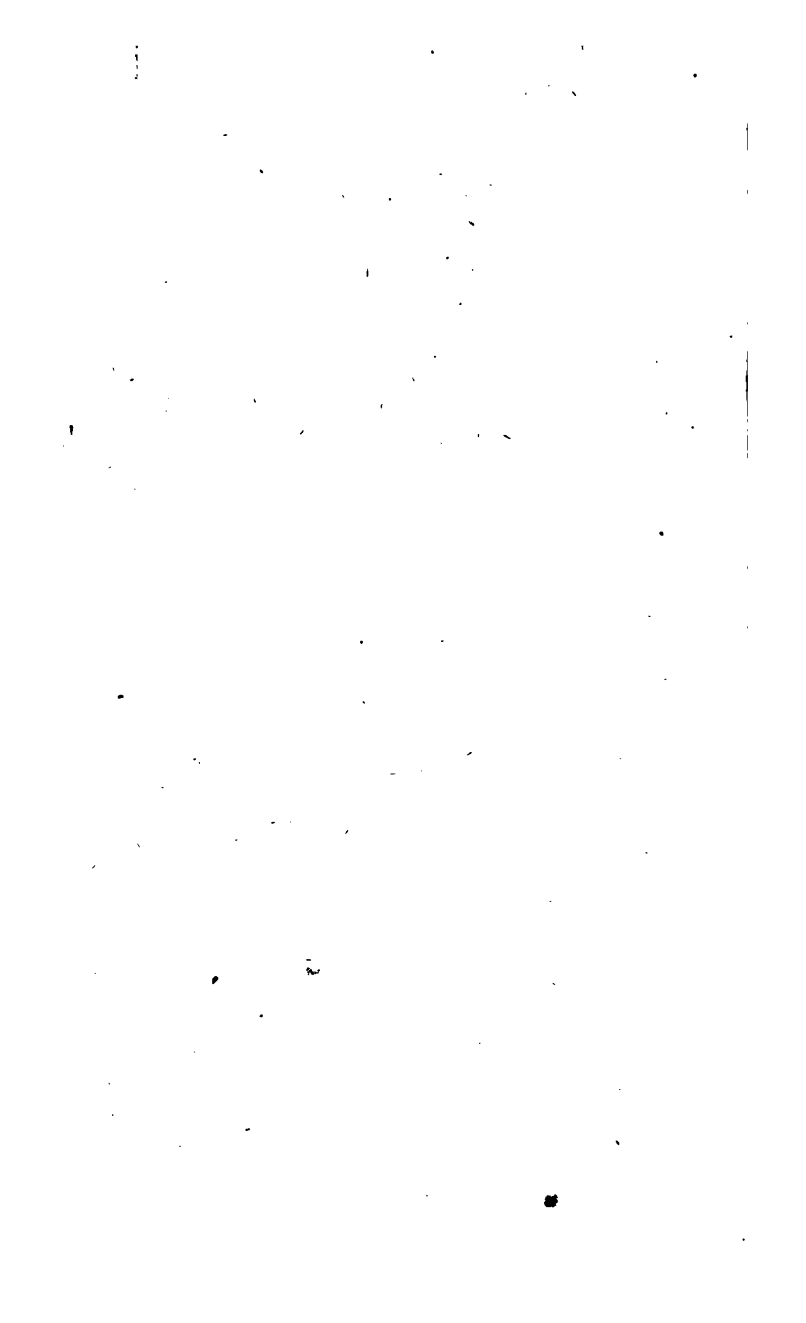


Fig. 23.



Q
R
S
T





lui de Sanctorius, qui est représenté par la Fig. 24. produit encore ses effets en conséquence de la dilatabilité de l'air. Lorsqu'on applique la main à la boule d'en haut, l'air qu'elle contient, & qui remplit une partie du tuyau jusqu'en *N*, s'échauffe, se dilate, & fait descendre dans le réservoir d'enbas, une liqueur colorée, dont la marche devient sensible, & peut se mesurer par la graduation qui est sur la planche. Si l'air que l'on a échauffé se refroidit ensuite, il se condense, & la même liqueur poussée par le poids d'une colonne de l'atmosphère qui répond en *M*, remonte vers la boule; ce qui devient remarquable par les degrés de l'échelle qu'elle parcourt de bas en haut; nous reprendrons l'histoire de cet instrument, lorsque nous parlerons de ceux qui servent à mesurer les degrés de chaud & de froid.

Comme on fait jaillir l'eau par la compression de l'air, on peut de même employer sa dilatation pour former des fontaines qui amusent les curieux: ces principes de mouvemens auroient des applications sans fin;

X.
LEÇON.

mais le recueil qu'on en pourroit faire n'entre point dans le dessein de cet ouvrage, je me borne à deux exemples par lesquels on pourra juger des autres. *AB*, Fig. 25. est un vase de verre étranglé & ouvert en haut & en bas, dont la patte est arrêtée sur le dessus d'une caisse *CD*, formée en piedestal : on a cimenté en *A*, un petit tuyau *EF*, qui d'une part finit en pointe comme un ajutage, & dont l'autre bout touche à quelques lignes près, le fond du vase. Un autre tuyau qui aboutit en *G*, & qui est ouvert, passe dans l'étranglement *B*, où il est cimenté, & à travers du piedestal, pour se joindre à une espece de ballon de cuivre mince, auquel il est soudé. La caisse *CD*, est garnie de plomb par dedans ; & le dessus qui peut se lever, s'attache avec des crochets.

Le ballon de cuivre ne contient que de l'air ; le vase *AB*, est rempli d'eau, environ jusqu'aux trois quarts de sa capacité, & l'on verse de l'eau bouillante dans la caisse *CD*, par un trou qui est pratiqué au-dessus, & dans lequel on place un entonnoir.

L'air du ballon étant échauffé par
l'eau

L'eau bouillante dans laquelle il se trouve plongé, se dilate par le canal G; & pressant par son ressort la surface de l'eau qui est dans le vase *AB*, il la fait sortir en forme de jet par le petit canal *E*. Il faut que le ballon de cuivre soit au moins deux fois aussi grand que le vase *AB*; car, comme nous l'avons dit ci-dessus, l'air ne se dilate que d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante, & l'eau ne peut pas bouillir dans la caisse qui contient le ballon.

X.
LEÇON.

On pourra faire un petit jet semblable à celui qui est représenté par la *Fig. 19. si*, au lieu de placer la bouteille dans le vuide, on la plonge dans un bain d'eau bouillante: mais alors il est à propos que cette bouteille soit de métal, de crainte que la chaleur subite, ou la grande dilatation de l'air ne la fasse crever.

Si l'on veut faire un jet de feu, on se servira d'esprit-de-vin ou de bonne eau-de-vie, & l'on tiendra pendant quelques minutes l'orifice du vaisseau bouché avec le bout du doigt ou autrement, pour donner le temps à la liqueur de s'échauffer un peu; &

258 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON.

avec la flamme d'une bougie on allumera le jet lorsqu'il partira. *Voyez la Fig. 26.*

ON vient de voir que la chaleur augmente le volume de l'air quand il est libre de s'étendre ; on apprendra par ce qui suit, que la même cause augmente son ressort, lorsque le volume est fixé par des obstacles.

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

ABC, Fig. 27. est un tube de verre qui a un peu plus de 4 pieds de longueur, environ une ligne de diamètre intérieurement, recourbé par en bas, & terminé par une boule creuse & mince, qui a 4 ou 5 pouces de diamètre. On y fait couler du mercure, pour emplir seulement la courbure *DBC*, & de manière que l'instrument étant debout, cette liqueur soit en équilibre avec elle-même dans les deux branches; on juge bien que pour cet effet, il faut que l'air de la boule ne soit pas plus condensé que celui de l'atmosphère au moment de l'expérience. Ensuite on ajoute du

EXPERIMENTALE. 259

mercure dans la partie *AD* du tuyau, jusqu'à ce qu'il y en ait une colonne de 28 pouces, à compter du niveau, c'est-à-dire, de la ligne *DC*; & l'on plonge toute la partie inférieure dans un bain d'eau bouillante, de telle sorte que la boule en soit entièrement couverte.

X.
LEÇON.

E F F E T S.

L'instrument étant ainsi plongé, le mercure s'élève de 18 pouces & quelques lignes dans la branche la plus longue, ce qui fait une colonne d'environ 46 pouces, à compter du niveau du mercure dans la plus courte branche.

E X P L I C A T I O N S.

Lorsqu'il n'y a du mercure que dans la courbure du tuyau, & qu'il n'est pas plus élevé dans une branche que dans l'autre; l'air de la boule est, par son ressort, en équilibre avec le poids de l'atmosphère, qu'on suppose équivalent à 28 pouces de mercure, pendant le temps de l'expérience. Les 28 pouces de mercure qu'on ajoute ensuite dans la longue branche, don-

 X.
LEÇON.

blent donc cette pression, & par conséquent la densité de l'air qui est dans la boule : si cet air ainsi comprimé & plongé dans l'eau bouillante, devient capable de porter encore 18 pouces & 8 lignes de mercure, c'est une preuve que ce degré de chaleur augmente son ressort d'un tiers; car 18 pouces 8 lignes font justement la troisième partie de 56, somme de la double pression dont l'air est chargé avant l'immersion.

Comme les 18 pouces & 8 lignes de mercure s'élèvent dans la longue branche aux dépens de celui qui est dans la plus courte, le volume de l'air échauffé augmente toujours un peu pour deux raisons; 1^{ment}, parce que le mercure qui passe dans l'autre branche, lui laisse un peu de place pour s'étendre; 2^{ment}, parce que le verre se dilate par la chaleur, & que la capacité de la boule, devient nécessairement un peu plus grande, comme nous le ferons voir ailleurs: c'est pourquoi la densité de l'air diminuant un peu, la force de son ressort augmenté par la chaleur, n'est pas tout-à-fait aussi grande qu'elle le

feroit, si le volume demeurait constamment dans ses bornes; ainsi l'augmentation de la colonne de mercure au-dessus des 28 pouces ne va jamais jusqu'à 18 pouces 8 lignes; mais il ne s'en faut que d'une petite quantité, quand on se sert d'un tuyau fort menu, par comparaison à la capacité de la boule.

X.
LEÇON.

C'est donc un fait incontestable, que la force du ressort de l'air augmente d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante: mais quelle est la raison de ce fait, & comment arrive-t-il que les parties de l'air échauffé acquièrent plus de roideur? c'est ce que l'expérience n'apprend point. On peut dire cependant, en raisonnant par des conjectures assez plausibles, que

- » l'action de la chaleur consiste, com-
- » me nous l'avons déjà dit, en une
- » infinité de petites particules très-
- » agitées, qui pénètrent les corps.
- » Quand elles entrent dans une mas-
- » se d'air, elles en ouvrent & elles
- » en développent les lames spirales,
- » non-seulement parce que ce sont
- » de nouveaux corps qui se logent
- » dans leurs interstices; mais princi-

* Hist. de
l'Acad. des
Scienc. 170
p. 3.

262 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON.

» palement , parce que ce sont des
 » corps qui se meuvent avec beau-
 » coup de violence ; de - là vient
 » l'augmentation de ce volume d'air.
 » Que s'il est enfermé de maniere
 » qu'il ne se puisse étendre , les par-
 » ticules de feu qui tendent à ouvrir
 » les spirales , & ne les ouvrent point ,
 » augmentent par conséquent leur
 » force de ressort , qui cesseroit , si
 » elles s'ouvroient librement. Quand
 » l'air est condensé , il y a plus de
 » particules d'air dans un même espa-
 » ce , & quand les particules de feu
 » viennent à y entrer , elles exercent
 » donc leur action sur un plus grand
 » nombre de particules d'air ; c'est-
 » à dire qu'elles causent ou une plus
 » grande dilatation ou une plus gran-
 » de augmentation de ressort. Or
 » quand l'air est chargé d'un plus
 » grand poids , il est plus condensé ;
 » & par conséquent , s'il ne peut
 » alors s'étendre , comme on le sup-
 » pose toujours , un même degré de
 » chaleur augmente davantage son
 » ressort. »

EN procédant comme dans l'expérience précédente, on observe que l'augmentation causée au ressort de l'air par la chaleur de l'eau bouillante, est égale au tiers du poids dont l'air est alors chargé, si l'expérience est faite dans le printemps ou dans l'automne, c'est-à-dire, dans un temps qui tienne à-peu-près le milieu entre le grand chaud & le grand froid. Ainsi l'air que nous respirons, toujours chargé d'un poids égal à celui de 28 pouces de mercure à-peu-près, étant échauffé par de l'eau bouillante, augmenteroit la force de son ressort de 9 pouces 4 lignes. Un air condensé au double, l'augmenteroit de 18 pouces 8 lignes, qui font le tiers de 56. Réciproquement un air toujours dans le même état de condensation augmentera différemment son ressort, selon les différens degrés de chaleur.

M. Amontons, à qui l'on doit cette découverte, en a fait lui-même une application utile, en construisant sur

264 LEÇONS DE PHYSIQUE

ce principe un thermomètre d'air *

X. LEÇON. (a) où les degrés de chaleur se rapportassent à un terme connu : car avant lui ces sortes d'instrumens n'apprennoient rien, sinon qu'il faisoit plus froid ou plus chaud que dans un autre lieu, dans un autre temps où on les avoit observés : les thermomètres comparables ont pris naissance entre ses mains ; s'il ne les a point portés au degré de perfection où ils sont aujourd'hui, on lui a du moins l'obligation de nous avoir mis sur la voie.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc 1702. p. 161.*

Un poêle allumé dans une chambre, ne manque pas d'en raréfier l'air, parce que cet air n'est pas tellement renfermé, qu'il ne communique un peu avec celui du dehors, par des petits passages qui se trouvent toujours à la porte ou aux fenêtres, & qui lui laissent la liberté de s'étendre; mais l'air, quoiqu'ainsi raréfié & moins dense que l'atmosphère, se tient pourtant en équilibre avec elle, parce qu'en

(a) On trouve dans les *Transact. Philosop.* n. 197, année 1693. un mém. de M. Halley, qui a pour objet de faire un thermomètre comparable en tous lieux & sans modele.

s'échauffant

s'échauffant il acquiert un de degré de ressort qui le met en état d'en soutenir la pression ; la même cause qui diminue sa densité , augmente d'autant son ressort , & l'un supplée à l'autre.

X.
LEÇON.

Il n'en est pas de même lorsqu'on fait du feu dans une cheminée ; l'air s'y raréfie , sans que son ressort augmente , parce qu'il peut s'étendre facilement ; aussi-tôt l'équilibre cesse entre les deux colonnes de l'atmosphère qui répondent aux deux extrémités du tuyau ; celle qui pèse par en bas ayant toute sa densité , l'emporte sur l'autre qui est en partie raréfiée , & il se fait un courant d'air de bas en haut : voilà au moins ce qui arrive pour l'ordinaire ; nous aurons peut-être occasion d'examiner ailleurs , quelles sont les causes qui peuvent empêcher cet effet , & déterminer l'air à descendre par la cheminée.

DE tous les usages que nous faisons de l'air , il n'en est point de plus fréquent , de plus remarquable , de plus nécessaire , que celui qu'on nomme *respirer*. Environ 30 fois dans chaque minute , la poitrine s'élève & s'abaisse , & par ce mouvement al-

X.
LEÇON.

ternatif assez semblable à celui d'un soufflet qui est en jeu, elle se rétrécit & se dilate : en se dilatant, elle reçoit l'air extérieur, qui, pressé par le poids de l'atmosphère, passe dans les vésicules des poulmons; lorsque la poitrine s'abaisse ensuite, l'air qui ne peut plus y être contenu, passe au dehors & emporte avec lui les vapeurs dont il s'est chargé: la première de ces deux actions se nomme *inspiration*, la dernière s'appelle *expiration*, & l'une & l'autre sont tellement nécessaires pour la conservation de la vie, qu'il n'y a aucun animal qui ne périsse infailliblement quand on lui interdit ce double mouvement, ou qu'on le prive d'un air capable de l'entretenir, comme on le verra dans les expériences suivantes.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

ON couvre d'un grand récipient un pigeon ou quelque autre oiseau que l'on place sur la platine d'une machine pneumatique, & l'on donne plusieurs coups de piston pour raréfier l'air peu-à-peu. *Fig. 28.*

EFFETS.

X.

LEÇON.

Quand la densité de l'air est diminuée à-peu-près des deux tiers dans le récipient, l'oiseau tombe en convulsion ; assez souvent il se vuide par le bec, ou par la voie ordinaire des excréments ; & si l'on continue de faire le vuide plus parfaitement, ou qu'on le laisse seulement quelques minutes en cet état, il périt sans retour ; mais lorsqu'on lui rend l'air promptement, il se rétablit en peu de temps : ce rétablissement, à dire vrai, n'est pas pour l'ordinaire, de longue durée ; je n'ai gueres vû d'oiseaux, ni même d'autres animaux, qui aient beaucoup survécu à cette épreuve.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

DANS un grand vase de verre presque plein d'eau, on met un petit poisson vivant, & l'on couvre le tout d'un grand récipient sur la machine pneumatique. Fig. 29.

E F F E T S,

X.

LEÇON.

A mesure qu'on fait le vuide dans le récipient, on voit sortir des bulles d'air de dessous les écailles du poisson, par ses ouies & par sa bouche. L'animal se tient à la surface de l'eau sans pouvoir aller au fond; il y meurt enfin, mais ce n'est qu'après plusieurs heures d'épreuve: & quand on fait rentrer l'air dans le récipient, soit avant soit après sa mort, il retombe au fond du vase, & ne peut jamais remonter à la surface de l'eau.

E X P L I C A T I O N S,

La vie animale, comme on fait, consiste principalement dans le mouvement du cœur & dans la circulation du sang. Or si l'on en croit les plus habiles Anatomistes, & si l'on en juge par leurs observations & par leurs expériences, la respiration entretient l'un & l'autre; soit parce que l'air qui est poussé dans les poulmons par le poids de l'atmosphère, sert d'antagoniste aux muscles que la nature emploie pour l'inspiration, & que pressant les vaisseaux où le sang a été por-

té par la contraction du cœur , il le détermine à refluer vers cette source , pour aller ensuite aux autres parties du corps ; soit parce que l'air divisé & filtré , pour ainsi dire , se mêle avec le sang & circule avec lui en l'animant par son ressort * : l'animal qui ne peut pas respirer , ne peut donc pas continuer de vivre.

X.
LEÇON.

* M. Méry.
Mém. de l'Acad. des Sc.
1700. p. 211

L'oiseau que l'on a placé dans un air considérablement raréfié , ne respire plus ; parce que cet air ne participe plus au poids de l'atmosphère , dont il est séparé , & que son ressort , comme sa densité , est beaucoup diminué. C'est en vain que la poitrine se dilate ; le fluide qui a coutume de s'y introduire n'en a plus la force ; ainsi le mouvement alternatif que l'on nomme respiration , ne peut plus avoir lieu , puisque des deux puissances qui le produisent , on en supprime , ou on en affoiblit une , qui est le poids ou le ressort de l'air.

Une autre cause qui fait périr un animal dans le vuide , c'est que l'air qu'il a dans les différentes capacités & dans les fluides mêmes de son corps , se raréfie fortement , lorsqu'il n'est plus

 X.
LEÇON.

contenu par la pression de l'air extérieur ; car toutes ces portions d'air dilaté , acquérant un volume beaucoup plus grand que celui qu'elles ont dans l'état naturel , compriment & rompent souvent les parties où elles se trouvent engagées , ou bien elles font des obstructions dans les vaisseaux , & arrêtent le cours des humeurs. C'est pour cela sans doute que les animaux ont ordinairement des nausées , ou qu'ils se vident lorsqu'on les applique à ces sortes d'épreuves ; car l'air des intestins ou de l'estomac venant à s'étendre , chasse devant lui les alimens non digérés , ou les excréments qui lui ferment le passage.

On ne peut pas douter qu'il n'y ait de l'air dans le corps des animaux , & même de ceux que la nature a destinés à vivre dans l'eau , puisqu'on le voit sortir du poisson à mesure qu'on fait le vuide dans le récipient. Il y a toute apparence que les aquatiques & les amphibies respirent différemment des autres animaux qui vivent continuellement dans l'air , puisque la privation de cet élément ne les fait pas mourir aussi promptement ; mais on

doit croire que ce qui accélère le plus leur perte dans le vuide, c'est l'air intérieur qui se dilate & qui met tout en désordre. Cette double vésicule qu'on trouve dans les carpes & dans la plupart des autres poissons, se distend en pareil cas & fait enfler le corps de l'animal; c'est pourquoi tant qu'il est dans le vuide, il surnage malgré lui, étant plus léger alors que le volume d'eau auquel il répond: mais il devient plus petit & se précipite involontairement, quand on fait rentrer l'air dans le récipient; parce que la vésicule en se dilatant s'est vidée en partie, & que le reste de l'air qu'elle contient, lorsqu'il reprend une densité égale à celle de l'atmosphère, n'est plus capable de la remplir, comme il est facile de s'en assurer en ouvrant le corps du poisson.

APPLICATIONS.

PAR l'explication que je viens de donner des deux expériences précédentes, on voit que les animaux placés dans le vuide y périssent par deux raisons principales: premièrement, par défaut de respiration; seconde-

ment , par la dilatation de l'air qui se trouve renfermé dans leurs corps. Comme les genres & les especes different non-seulement par la figure & par les mœurs , mais encore par la conformation , le nombre & la grandeur des parties internes , il est vraisemblable que tout ce qui respire , ne respire point de la même façon ; que dans certains animaux la respiration doit être abondante & fréquente ; & que dans d'autres au contraire elle peut se faire plus lentement & avec un air plus rare , au moins pour un certain temps. Voilà , sans doute , pourquoi de tant d'animaux d'especes différentes , éprouvés dans le vuide par Boyle , l'Académie de Florence , Derham , Muschenbroek , & tant d'autres Physiciens , les uns meurent dans l'espace de 30 ou de 40 secondes , comme presque tous les oiseaux , les chiens , les chats , les lapins , les souris , &c. pendant que d'autres soutiennent un vuide de plusieurs heures , comme les poissons , la plupart des reptiles , & nommément la grenouille , qui résiste quelquefois à cette épreuve pendant un

jour entier sans mourir. Car puisque ces derniers animaux vivent commodément dans l'eau, on ne peut pas dire qu'ils ayent besoin de respirer à la maniere des animaux terrestres; & peut-être soutiendroient-ils le vuide plus long-tems qu'ils ne font, s'ils n'avoient à y souffrir qu'une simple privation d'air, & si celui qu'ils ont au-dedans du corps ne dérangeroit rien à l'économie des parties, par sa grande dilatation. Ce qui me porte à penser ainsi, c'est qu'on les voit s'enfler considérablement, & qu'après la mort, on leur trouve toujours les poulmons flasques & plus pesans que l'eau.

Une autre raison qu'on pourroit alléguer encore en faveur de cette opinion, c'est que presque tous les insectes, ceux même qui vivent en plein air, les papillons, les mouches, les scarabées souffrent, sans périr, une privation d'air qui va quelquefois à plusieurs jours, sans doute parce que n'ayant dans le corps que de très-petits volumes d'air qui se dilatent peu, le vuide ne peut leur être mortel, que par le seul défaut de

X.
LEÇON.

respiration ; & ces petits animaux vraisemblablement peuvent être long-temps sans respirer , au moins l'air grossier.

Convenons cependant que l'état naturel de tous ces animaux est de pouvoir prendre l'air , & que c'est leur faire violence que de les en priver. On voit le poisson s'élancer de lui-même à la surface des étangs, pour en prendre de nouveau & pour rejeter celui qu'il a pris précédemment. Les Naturalistes conviennent qu'il sçait filtrer & s'approprier celui qui est disséminé dans l'eau ; & quand il meurt sous la glace , on a raison de croire que c'est parce que l'air lui a manqué , puisqu'on évite cet accident quand on a soin de rompre les glacons. Enfin le poisson vit beaucoup plus long-temps dans l'air & sans eau, qu'il ne peut faire en pleine eau s'il manque d'air.

En conséquence de ce dernier fait qui est incontestable , en voici un autre que je trouve dans de bons Auteurs , & que j'ai appris moi-même en Hollande & en Angleterre , de plusieurs personnes que je ne puis pas

Soupçonner d'avoir voulu m'en imposer. On suspend, dit-on, des carpes dans des petits filets sur de la mousse humide & dans un lieu frais, & pendant deux ou trois semaines on les engraisse avec de la mie de pain trempée dans du lait. S'il n'y a rien à rabattre de ce récit (a), il est évident que l'air est plus nécessaire que l'eau au poisson même, & qu'on peut mettre ce principe à profit.

Quelques Auteurs ont observé, que les chiens, les chats, les lapins, &c. nouveaux-nés, ne meurent pas dans le vuide aussi promptement que les adultes des mêmes espèces; c'est que la respiration est d'une nécessité plus pressante pour ceux-ci que pour les premiers. Pour en sentir la différence, il faut savoir, qu'avant la naissance, il n'y a qu'une circulation pour la mere & pour le fœtus. Dans celui-

(a) J'ai tenté deux fois cette expérience sans succès; mais je n'en ai pu rien conclure de certain, parce que les carpes que j'ai employées, avoient été fatiguées par un assez long transport, ou assez mal-traitées depuis qu'elles étoient sorties de l'eau. Je n'ai jamais pu leur faire rien avaler : elles sont mortes en moins de 24 heures.

X.
LEÇON.

ci qui ne respire point encore, le sang va du ventricule droit au ventricule gauche du cœur, par une communication que les Anatomistes ont nommée le *trou ovale*, & sans être obligé de passer par le poulmon, où l'air extérieur n'a point encore d'accès : mais après la naissance, ce passage se ferme peu-à-peu, & la respiration devient nécessaire, pour enfler les vésicules du poulmon, & pour faire circuler le sang dans le nouvel animal séparé de sa mere, de la même façon que la respiration de celle-ci le faisoit circuler précédemment dans l'un & dans l'autre. C'est pourquoi l'on reconnoît communément si un enfant est mort avant que de naître, ou s'il a respiré avant que de mourir, en mettant son poulmon dans l'eau ; car s'il surnage, c'est une marque qu'il y a de l'air, & que l'enfant a respiré, ce qu'il n'a pû faire qu'après sa naissance. C'est une épreuve que la Justice mettoit en usage, lorsqu'il s'agissoit de juger une mere qui étoit accusée d'avoir tué son enfant, & qui se défendoit de ce crime, en soutenant qu'il étoit venu mort au monde. Mais on a observé

Depuis, qu'en certains cas le poulmon
d'un fœtus peut furnager ; & que ce-
lui d'un enfant nouveau-né peut al-
ler au fond de l'eau ; ce qui rend cette
expérience insuffisante pour établir un
jugement de cette importance.

X.
LEÇON.

Plusieurs Anatomistes * prétendent
avoir trouvé le trou ovale encore ou-
vert dans des adultes. Cette obser-
vation , qui n'est presque (a) point
contestée , peut expliquer certains
faits dont le récit révolte les esprits
les plus crédules. Telle est l'histoire
du Jardinier (b) de Troningholm de
Suede , qu'on dit avoir été 16 heures
perdu dans l'eau & sous la glace , sans
avoir été noyé ; telle est celle d'un
certain Laurent Jonas qui y resta ,
dit-on , sept semaines sans mourir ;

* Hist. de
l'Académie
des Sciences.
1700, p. 40.

(a) Cheselden célèbre Anatomiste de Lon-
dres , prétend que tous ceux qui ont cru voir
le trou ovale dans les adultes , se sont trom-
pés en prenant pour ce trou l'ouverture des
veines coronaires. *Derham. Theol. Phys. liv.*
4^e chap. 7. rem. 15.

(b) Une personne du pays , distinguée par
sa naissance & par un goût décidé pour les
Sciences , m'a assuré que ce fait passe constam-
ment pour vrai en Suede ; mais que c'est à
Stromsholm , séjour ordinaire de la Cour , &
non à Troningholm , qu'il est arrivé.

278. LEÇONS DE PHYSIQUE

X. Pecklin * sur des témoignages qui paroissent authentiques. Je sens par moi-même qu'on aura bien de la peine à s'y rendre ; mais pourtant , s'il est vrai qu'on puisse vivre autant que le sang peut circuler , que la circulation se fasse librement sans respirer l'air , dans ceux qui ont le trou ovale encore ouvert , & que ce trou ait été observé dans des adultes , seroit-il impossible qu'il se rencontrât de ces faits extraordinaires ?

LEÇON.
* De aëriis
& alim. conf.
c. 10.

On croira plus facilement ce que l'on raconte de plusieurs personnes qui ont été étranglées par ordre de la Justice , ou autrement , & qui ont été trouvées vivantes , après avoir été détachées de la potence : ces exemples se rencontrent plus fréquemment , & plusieurs sont suffisamment attestés. Cependant il paroît qu'il y a plus de causes de mort dans les pendus que dans les noyés ; la ligature du col qui contraint les vaisseaux , les efforts qui se font sur cette partie ; tant par le poids du corps que par celui qu'on y ajoute , les coups & les différens mouvemens que l'e-

xécuteur employe pour hâter le supplice : si malgré tout cela il se trouve encore de temps en temps quelques-uns de ces malheureux qui reprennent vie (a), je serois tenté de croire qu'on pourroit sauver beaucoup de noyés, qui ont été peu de temps dans l'eau, que l'on juge morts sur des signes assez souvent équivoques, ou que l'on acheve de faire périr par des secours mal entendus. J'appelle secours mal entendus, de les tenir suspendus, la tête en bas, & souvent dans un air froid ; il seroit mieux d'essayer à ranimer le sang par une chaleur douce, par des liqueurs spiritueuses, par des frictions, & de les tenir dans une situation naturelle & commode (b) ; car ils ont avalé peu

(a) Ces sortes de suppliciés échappent à la mort, ou parce que l'étranglement a trop peu duré, pour éteindre entièrement en eux le principe de la vie, ou parce que la corde, au lieu de serrer les anneaux de la trachée, a porté son effort sur le cartilage *Scutiforme*, qu'on nomme vulgairement le nœud de la gorge, & qui est capable d'une très-grande résistance dans certains sujets ; au moyen de quoi la respiration n'a point été entièrement interrompue.

(b) On prétend que la cendre de bois neuf

d'eau, & ce qu'ils en ont dans l'estomac n'est pas le mal le plus pressant ou le plus réel.

Si la respiration manque aux animaux dans le vuide, ou dans un air considérablement raréfié, elle devient pénible aussi dans un air condensé au-delà de son état ordinaire. MM. Derham & Muschenbroek ont mis des oiseaux & des poissons dans un air deux ou trois fois plus condensé qu'il ne l'est communément par le poids de l'atmosphère, & ces animaux pour la plupart y ont péri en 5 ou 6 heures : on ne doit pas douter qu'on ne leur ait fait violence, en rompant ainsi l'équilibre entre l'air intérieur de leur corps, & celui qui les environnoit ; & qu'ils n'eussent eû beaucoup plus à souffrir encore, s'ils eussent été mis dans un air excessivement comprimé. Mais on ne croira pas qu'une double ou une triple condensation ait été la principale cause de leur mort, lorsqu'on saura, que des animaux des mêmes especes ne vivent gueres plus long-temps dans appliquée pendant quelque temps sur tout le corps du noyé, peut le rappeler à la vie.

un air qui a la densité & la température de l'atmosphère, s'il lui manque seulement d'être renouvelé.

X.
LEÇON.

C'est un fait constaté par l'expérience, & que les Physiciens expliquent de diverses façons. Les uns prétendent (& c'est le plus grand nombre) que l'air qui a été respiré, est chargé des vapeurs & des exhalaisons, dont il a purgé le viscere; & qu'il ne peut plus être respiré en cet état, sans causer une surabondance de ces parties nuisibles qui arrêtent la circulation, & qui suffoquent l'animal. Les autres pensant avec raison que l'air n'est propre à la respiration qu'autant qu'il est élastique, croyent qu'il perd une grande partie de son ressort, par le séjour qu'il fait dans les poulmons, ou dans les vaisseaux sanguins; & qu'ainsi, pour le respirer sainement, il faut, ou qu'il se renouvelle, ou qu'il soit purgé des parties hétérogènes dont il paroît visiblement chargé au moment de l'expiration. On peut consulter à ce sujet tout ce qui est rapporté par M. Hales dans sa *Statique des végétaux*, c. 6 Exp. 107. & suiv. où l'on trouvera des

observations fort curieuses.

X.

LEÇON.

* *Camera-
rius, in Ep.
Taurinensi-
bus.*

* *Hist. de
l'Acad. des
Scienc. 1710.
page 71.*

Quoi qu'il en soit, c'est agir prudemment que de ne se point exposer dans un air que l'on soupçonne d'être infecté d'une grande quantité d'exhalaisons, sur-tout de celles qui sont sulfureuses. Les cloaques qui ont été longt-temps fermés, les souterrains qui avoisinent les minieres, les lieux clos où l'on a tenu du charbon allumé, les celliers mêmes dans lesquels fermentent les vins nouveaux ou la biere, sont extrêmement dangereux *. On en peut juger par cette fameuse grotte d'Italie, dans laquelle un chien, ou tout autre animal, ne peut demeurer une minute sans être suffoqué; par cet accident aussi funeste que mémorable *, arrivé à Chartres dans la cave d'un Boulanger, où sept personnes furent étouffées subitement l'une après l'autre, par la vapeur de la braise; enfin par quantité d'ouvriers qu'on fait avoir péri de cette maniere, soit en fouillant des fosses, soit en nettoyant de vieux puits. L'usage des poëles même peut être pernicious, sur-tout dans les commencemens, lorsqu'ils sont de fer ou de cuivre,

& qu'on les chauffe fortement ; ce dernier métal sur-tout peut jetter dans l'air des exhalaisons très-nuisibles.

X.
LEÇON.

Non-seulement on doit éviter cet air empoisonné , dont les effets sont si prompts ; mais la prudence pourroit aller jusqu'à purifier , ou renouveler au moins, celui qu'on est obligé de respirer. Pourquoi , par exemple , ne prendroit-on pas cette peine pour des vaisseaux , pour des salles de spectacles , pour des mines , pour des Hôpitaux ? Plusieurs Physiciens fort habiles * en ont fourni les moyens , & les épreuves en ont été faites avec succès. Je crois même que des personnes qui restent 9 ou 10 heures au lit , devroient avoir l'attention de n'y être point enveloppées de rideaux fort épais , & qui se ferment fort exactement ; car il n'est pas sain de demeurer si long-temps dans une petite masse d'air qui ne se renouvelle point assez , & dont la pureté ne sauroit manquer d'être fort altérée , par la transpiration insensible & par la respiration,

* *Desagüilliers*, *Trans. Phil. n. 407.*
Hales, *descript. du Ventilateur*, par le moyen duquel, &c. traduit en Fr. par M. Desmours.

Si l'on pouvoit purifier l'air avec autant de facilité qu'on le peut re-

X.
LEÇON:

nouveller , il n'est pas douteux qu'on ne le dût faire avec soin dans bien des occasions ; & nous serions trop heureux , s'il ne s'agissoit que d'en faire connoître l'utilité. Jugeons de notre élément , comme nous le faisons de celui des poissons ; si l'eau d'un vivier ou d'un étang devient infecte , ne voit-on pas languir le poisson ; & la mortalité ne s'y met-elle pas en peu de temps ; A quoi devons-nous attribuer les maladies épidémiques , dont les symptômes sont les mêmes dans des sujets qui vivent tout différemment les uns des autres , dans un enfant , dans un adulte , dans un Prince , dans un Paysan , &c. est-ce à la nourriture , au genre de vie , à l'âge , au tempérament ? n'est-ce pas plutôt aux qualités actuelles de l'air qu'ils respirent tous en commun ? ne voit-on pas ces sortes de contagions se communiquer souvent , ou se dissiper par les vents , ou par d'autres changemens qui arrivent dans l'atmosphère ?

* *Exp. physico-mechan.*
Exp. 41.

Boyle * fait mention d'une liqueur très-volatile , dont Drebell se servoit , dit-on , pour purifier l'air dans une es-

pece de vaisseau qu'il avoit imaginé pour aller entre deux eaux ; (car on favoit déjà, qu'un air qui avoit été respiré , devenoit, en peu de temps, incapable de l'être davantage :) on trouve des Auteurs * qui disent avoir vû le vaisseau , qui l'ont même imité avec peu de succès , & dont le témoignage ne nous fait point regretter cette invention. Mais pour la liqueur , qui mériteroit bien des éloges , & dont on pourroit tirer de grands avantages si le secret n'en étoit point mort avec son auteur , personne ne dit l'avoir vûe , & je crois qu'il est très-permis de douter au moins de cette merveille.

Si l'on peut se flatter de purger l'air , je pense qu'on n'y parviendra que par une sorte de filtration , en l'obligeant de passer par quelque matière , où il puisse déposer ce qu'il contient d'étranger : mais il faut pour cet effet que ce dont on veut le dépouiller , soit de nature à s'attacher plus fortement au filtre qu'aux parties de l'air ; la connoissance de cette analogie doit être le fruit d'un grand nombre d'expériences délicates , &

X.
LEÇON:

* Papin ;
Rec. de diverses pieces,
2^e édition.
1695.

286 LEÇONS DE PHYSIQUE

X. d'observations bien méditées ; mais
LEÇON. l'objet est important , & plusieurs
 * Hales , habiles maîtres * ont déjà fait à cet
 Stat. des vé- égard quelques essais qui flattent nos
 gét. chap. 6. espérances : c'est en cédant à cette
 exp. 116. considération , que j'ai hasardé de
 Muschen- proposer un instrument pour laver
 broek, orat. de l'air , & pour recueillir les matieres
 meth. instr. dont il peut être chargé. Voyez les
 Exp. Phys. Mémoires de l'Académie des Sciences ,
 p. 28. pour l'année 1741 page 335 & suiv.

IL y auroit encore bien des choses à dire des propriétés de l'air , & de ses usages par rapport à la respiration, & à la maniere dont il influe sur la vie des animaux ; mais ces détails quelque'intéressans qu'ils soient , ne peuvent avoir lieu que dans un traité , où l'on auroit entrepris de faire entrer tout ce qui est contenu touchant ce fluide : les bornes que je me suis prescrites dans ces Leçons , ne me permettant pas de m'étendre davantage sur cette partie , je passe à une autre propriété de l'air , qui est encore fort importante , par les applications qu'on en peut faire. Je vais prouver par des faits , que les matieres les plus combustibles ne peuvent

EXPERIMENTALE. 287
s'enflammer que dans un air libre ;
& que quand elles le font, elles s'é-
teignent promptement dans le vuide. X.
LEÇON.

XII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

IL faut placer sur la platine d'une machine pneumatique , & sous un grand récipient , une grosse chandelle bien allumée, *Fig. 30.* & faire agir la pompe.

EFFETS.

A mesure qu'on raréfie l'air , la flamme diminue de volume , & après quelques coups de piston , elle s'éteint tout-à-fait.

XIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, B, Fig. 31. sont deux pierres à fusil portées par deux petits montans à ressort , qui sont établis sur la platine d'une machine pneumatique ; par le moyen d'un petit chassis de métal , qui est fixé au centre , & dans lequel ils glissent pour s'approcher plus ou

X.
LEÇON.

moins l'un de l'autre ; C, est une de ces boîtes à cuir, dont nous avons parlé ci-dessus, & dont la tige est engagée d'une part dans l'axe de la poulie D, & porte à son autre extrémité, & entre les deux pierres, une rondelle d'acier trempé, imparfaitement arrondie. Lorsqu'on fait tourner la grande roue EF, le mouvement se communique par les poulies de renvoi G, G, D, jusqu'en C, & se transmet par la tige dans le récipient ; & la rondelle d'acier frottant alors rudement contre les deux pierres qui sont tranchantes, fait l'office d'un véritable briquet.

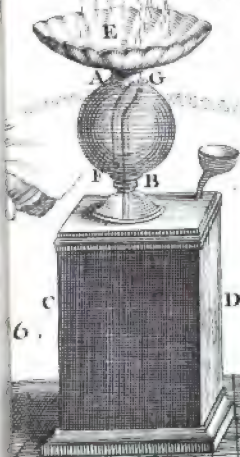
E F F E T S.

Tant que l'air du récipient est dans son état naturel, le frottement de l'acier contre les pierres fait naître un grand nombre d'étincelles très-brillantes : à mesure que l'air se raréfie par l'action de la pompe, ces étincelles deviennent moins nombreuses & moins éclatantes ; lorsque l'air arrive à ses derniers degrés de raréfaction, à peine en apperçoit-on quelques-unes, qui n'ont plus alors qu'une couleur
rouge

29.



Fig. 25.



6.

Fig. 30.

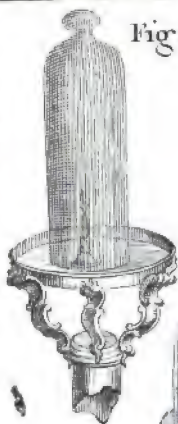
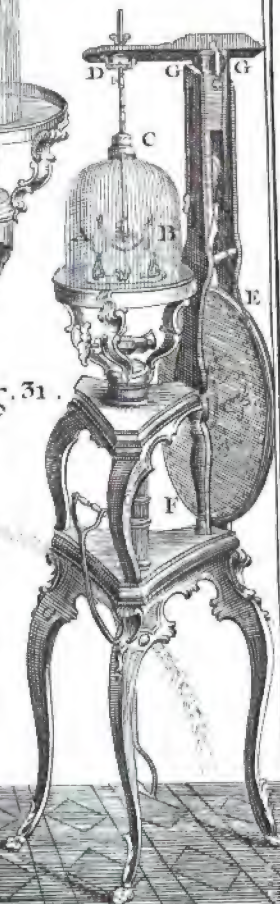
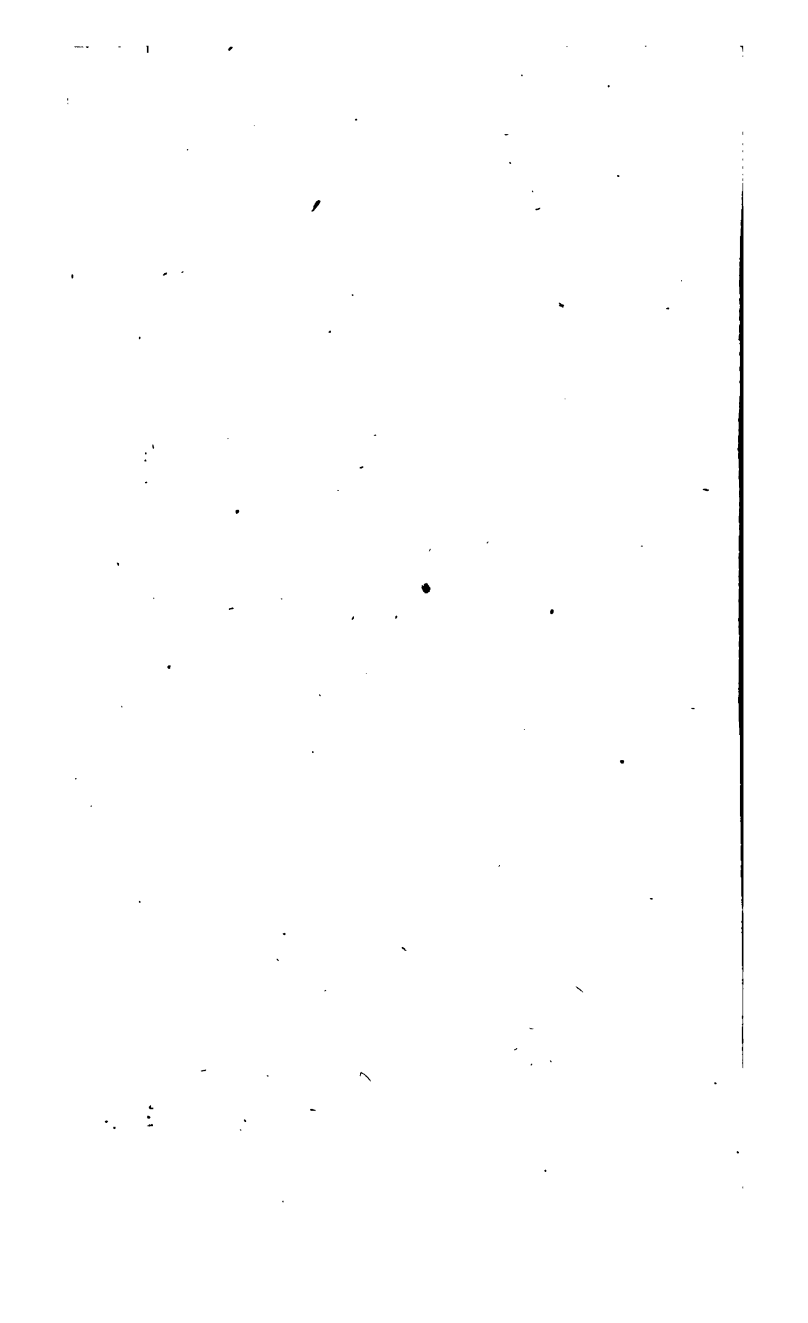


Fig. 31.





rouge & morne : enfin quand le vuide est aussi parfait qu'il peut l'être , il n'en paroît plus aucune ; mais elles recommencent à paroître aussi-tôt que l'on a rendu l'air dans le récipient.

XIV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

DANS un grand récipient , *Fig. 32.* garni comme le précédent d'une boîte à cuirs , on établit de la même maniere que les pierres à fusil , un petit châssis de métal , dans lequel se meut sur deux pivots la petite phiole de verre *H* ; on met dans ce petit vaisseau quelques grains de poudre à canon ; & au centre de la platine , sur un morceau de tuile ou de brique , un vase fort épais de cuivre rouge *K* , que l'on a fait chauffer jusqu'à rougir : on fait le vuide promptement ; & lorsque l'air est extrêmement raréfié , en abaissant la tige *I* , on appuie sur le goulot de la phiole qui s'incline , & qui jette la poudre dans le vase ardent.

X.

LEÇON.

La poudre, au lieu de s'enflammer & de faire son explosion ordinaire, se dissipe en fumée & sans éclat ; ou bien, il ne paroît tout au plus qu'une petite flamme bleue & rampante,

EXPLICATIONS.

C'est une opinion reçue en Physique, que la flamme consiste dans un mouvement de vibration imprimé aux parties du corps combustible, qui se dissipent sous la forme d'un fluide extrêmement subtile. Si l'on admet cette supposition, que nous examinerons, lorsque nous traiterons de la nature du feu ; on conçoit assez aisément pourquoi les corps ne s'enflament point dans le vuide, & pourquoi la flamme s'y éteint ; car un mouvement de vibration ne peut durer que dans un milieu à ressort, capable d'une réaction qui l'entretienne : ainsi la chandelle s'éteint peu-à-peu, à mesure qu'on raréfie l'air du récipient, parce que le ressort du fluide environnant diminue comme sa densité, & que les vibrations de la

Flamme n'éprouvent plus assez de réaction de sa part. Par la même raison, la poudre que l'on fait tomber sur du métal ardent, ne produit que de la fumée dans le vuide, ou tout au plus une flame très-foible, qui périt dans l'instant.

X.
LEÇON.

Il est à propos d'avertir cependant, que cette dernière épreuve ne doit se faire qu'avec quelques grains de poudre seulement, comme on l'a marqué dans l'article de la préparation; car le soufre & le salpêtre brûlés produisent dans le récipient de l'air, ou un fluide qui est élastique comme lui; & si l'on en employoit une certaine quantité, ce qui tomberoit à la fin dans le vase ardent, seroit infailliblement enflammé, & pourroit éclater avec danger.

Les étincelles qui naissent du choc de l'acier contre des cailloux tranchans, sont des particules du métal qui se détachent de la masse par la violence du coup, qui s'échauffent jusqu'à rougir & le plus souvent jusqu'à se fondre; c'est ce dont il est facile de se convaincre, en les recevant sur un papier blanc que l'on examine ensuite avec un microscope; car tous

X.
LEÇON.

ces petits morceaux d'acier paroissent comme autant de petites boules fort lisses, ce qui dénote visiblement qu'ils ont été mis en fusion, & qu'ils se sont arrondis, comme toutes les matieres liquides qui nagent en petite quantité dans un milieu fluide.

On peut remarquer que plusieurs de ces étincelles éclatent en l'air, & représentent un feu beaucoup plus brillant que les autres; ce sont celles qui passent la fusion, & qui s'enflamment jusqu'à dissipation de parties; on les distingue aisément sur le papier par leur couleur qui est plus brune, & parce qu'elles sont friables comme le mâche-fer.

M. Muschenbroek, après Boyle, M. Hughens & plusieurs autres Physiciens, a fait une grande quantité d'épreuves sur l'inflammation des corps dans le vuide, dont on peut voir le détail dans ses commentaires sur les expériences de Florence, *page 74 & suiv.* Cette lecture ne peut être que fort utile à ceux qui s'appliquent à la Physique; & c'est avec regret que je me dispense de les rapporter ici.

PUISQUE la flamme ne peut naître ni s'entretenir que dans un milieu à ressort, on ne doit point être surpris qu'une bougie allumée ou un charbon ardent s'éteigne, lorsqu'on le plonge dans des liqueurs les plus inflammables, comme l'esprit-de-vin & les huiles; & que l'une ou l'autre mette tout d'un coup le feu à ces mêmes liqueurs, lorsqu'elles sont réduites en vapeurs. Car dans ce dernier état elles sont mêlées avec l'air, & elles forment avec lui un fluide élastique, capable, par conséquent, d'une réaction telle qu'il la faut pour entretenir l'inflammation; au lieu que dans l'état de liqueurs elles sont si peu compressibles, qu'on doit les regarder comme dépourvûes du degré d'élasticité nécessaire.

Le feu brûle beaucoup mieux, & le bois se consume bien plus promptement pendant les grands froids qu'en tout autre temps, apparemment parce que l'air est plus dense, & qu'il a plus de ressort; & au contraire on remarque qu'un réchaud plein de

X.
LEÇON. charbon allumé s'éteint bien-tôt, s'il est exposé aux rayons du soleil, surtout pendant l'été,

Que doit-on croire de ces lampes sépulchrales des anciens, lesquelles, si l'on en croit quelques Auteurs, brûloient pendant plusieurs siècles sans s'éteindre ? Un feu qui ne consume point son aliment, & qui s'entretient dans des lieux où l'air ne se renouvelle point, pleins de vapeurs grossières, est une merveille dont il faudroit constater l'existence, par des preuves plus positives que toutes celles qu'on en a ; avant que de faire les frais d'une explication qu'on auroit bien de la peine à rendre plausible. Car ce n'est point assez qu'il y ait de l'air autour des matieres enflammées, pour entretenir le feu, il faut encore que cet air soit libre & qu'il ait une certaine pureté : voilà pourquoi les incendies cessent ordinairement, quand ils commencent dans des lieux qu'on peut boucher de toutes parts, si d'ailleurs leurs parois sont capables de résister aux efforts de l'air & des vapeurs qui se dilatent au-dedans.

Quoiqu'un air renouvelé entre-

tienne la flamme & anime l'embrasement ; cependant le souffle de la bouche ou le vent éteint une bougie, parce qu'il dissipe les parties de la flamme , & qu'il sépare le feu de son aliment : toutes les fois que cette dissipation n'a point lieu , l'inflammation , bien loin de cesser , ne fait qu'augmenter.

Je dois avertir aussi , qu'on ne doit tenter les inflammations dans le vuide qu'avec beaucoup de précautions , sur-tout celles qui doivent naître de la fermentation : car comme les liqueurs propres à cet effet sont d'autant plus actives qu'elles sont moins gênées par le poids de l'atmosphère , leur explosion doit être naturellement plus violente dans le vuide , qu'ailleurs ; soit qu'elles produisent , en fermentant , une grande quantité d'air dont le ressort se déploie à l'instant , comme l'ont pensé quelques Physiciens * ; soit qu'étant réduites en vapeurs , elles se dilatent elles-mêmes par leur propre embrasement. Quoique je ne désapprouve pas la première de ces deux explications , je crois pourtant qu'on trouvera plus de vraisemblance dans la dernière ,

X.
LEÇON.

* *Stare , dans les leçons de Phys. de Cores , 16. leçon.*

quand j'aurai fait voir ailleurs les prodigieux efforts dont les vapeurs dilatées sont capables.

JUSQUES ici nous avons parcouru les principales propriétés de l'air qui environne les corps : mais ce fluide se rencontre aussi dans leur intérieur ; il en remplit les vuides ; il entre, pour ainsi dire, dans leur composition, comme l'eau d'un étang ou d'une rivière pénètre dans le bois, dans les pierres qui y sont plongées, & tient une place dans les concrétions qui s'y forment.

Dans quelque état que soient les corps, on y trouve de l'air : les liquides en contiennent beaucoup, les corps solides, pour la plupart, en ont encore davantage ; & ce qu'il y a d'admirable, c'est que, dans ceux-ci sur-tout, la quantité d'air qui s'y trouve renfermé surpasse assez souvent 100 ou 150 fois leur volume, quand il est dégagé, & qu'il n'est plus retenu que par le poids de l'atmosphère.

On peut ôter l'air d'un corps de quatre manières différentes ; 1^{ment}, en le tenant quelque temps dans le vuide ; 2^{ment}, en le faisant chauffer

fortement ; 3^{ment}, en le divisant & en désunissant ses parties , par voie de fermentation , de dissolution , ou de distillation ; 4^{ment} enfin , en les faisant passer de l'état de liquidité à celui de solidité , comme lorsqu'on fait geler de l'eau. Les deux premiers moyens , & peut-être le quatrième , ne dégagent que les parties les plus grossières de l'air , je veux dire , celui qui est dans les pores les plus ouverts & qui a une disposition plus prochaine à s'étendre & à se dilater. Par le troisième procédé , on sépare les moindres parties , celles qu'une extrême ténuité rend presque inflexibles , & qui ne deviennent sensiblement élastiques , que quand elles se sont réunies plusieurs ensemble , pour former des globules un peu plus grossiers : car on peut croire que les petites lames qui composent une masse d'air , ne sont pas des corps simples , mais des petits composés d'élémens plus courts , & qu'elles sont d'autant plus roides qu'elles sont plus divisées , comme une lame d'acier perd de sa flexibilité à mesure qu'on diminue sa longueur. Il peut se faire que

298 LEÇONS DE PHYSIQUE

X. LEÇON.

l'air qui entre dans la composition des mixtes , & qui concourt à la formation de leurs parties intégrantes , soit divisé jusqu'à ses particules élémentaires , & qu'il soit par cela même bien différent de celui qui ne fait que remplir les vuides ou les pores de ces mêmes matieres.

C'est à cet air extrait des corps que Boyle , & après lui M. Hales , ont donné le nom de *Factice* ; non pas qu'il ayent cru qu'on pût faire de l'air par la conversion d'une matiere en une autre , mais parce que celui qui existe dans un corps quelconque , & qui est intimement mêlé avec lui , se révivifie ordinairement par le secours de l'art. On peut voir dans les ouvra-

* Boyle, ex-
periment.
Phys. Mech.
continuat. 21.
Halles, stat.
des végét. ch.
6. & dans
l'appendice ,
Exper. 2. &
suiv.

ges même de ces deux Auteurs * , le détail des expériences qu'ils ont faites sur cette matiere , & les conséquences qu'ils en ont tirées. Je me bornerai ici à quelques exemples qui pourront suffire , pour donner une idée de cet air factice , des qualités qu'il a , & des effets dont il est capable.

XV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

X.
LEÇON.

IL faut mettre dans un gobelet de verre, avec de l'eau claire, un morceau de bois ou de pierre, une noix, un œuf, ou tout autre corps solide & fort poreux, de maniere qu'il soit entièrement plongé; ce qui se fera facilement par le moyen d'un plomb qu'on y joindra, si les matieres qu'on doit plonger sont plus légères que l'eau. On couvre le tout d'un récipient sur la platine de la machine pneumatique, & l'on fait agir la pompe pour raréfier l'air. Fig. 33.

EFFETS.

A chaque coup de piston, on peut remarquer qu'il sort une grande quantité de bulles d'air du corps plongé; & lorsqu'on l'ouvre après cette épreuve, on le trouve pénétré & rempli d'eau, plus qu'il ne le pourroit être par une simple immersion.

EXPLICATIONS.

L'air qui est renfermé dans les po-

300 LEÇONS DE PHYSIQUE

X. LEÇON.

res du bois, de la pierre, &c. est pour le moins aussi dense que celui de l'atmosphère dont il a coutume de soutenir le poids : quand on supprime cette pression, ou qu'on la diminue par l'action de la pompe, cet air se dilate en vertu de son ressort, son volume augmente, & ne pouvant plus se loger dans ces petits espaces où il est, il s'échappe dans l'eau, & devient visible sous la forme de petits globules, qui s'élèvent promptement à cause de leur légèreté respective.

L'air qui passe du corps solide dans l'eau qui l'entoure, se met en petites boules, & cet effet arrive en général à tout fluide qui se trouve plongé dans un autre fluide avec lequel il a peine à se mêler ; apparemment parce que ses parties également pressées de toutes parts tendent à un centre commun. Je fais bien qu'on objecte contre cette raison, que les gouttes d'eau ou de mercure demeurent arrondies dans le vuide de Boyle ; mais je fais bien aussi que ce vuide n'en est point un à proprement parler, & que tout ce qu'on peut prétendre, c'est que la pression y soit moindre

qu'ailleurs : mais l'effet dont il s'agit dépend bien moins d'une pression plus ou moins grande , que d'une pression égale de toute part , qu'on ne sauroit nier dans un vaisseau où l'on fait que l'air grossier n'est que raréfié , & dans lequel tout le monde convient qu'il y a toujours un fluide, indépendamment de celui qu'on fait sortir par le moyen de la pompe.

X.
LEÇON

Lorsqu'on fait rentrer l'air dans le récipient , l'eau du gobelet se trouve plus comprimé qu'elle ne l'étoit dans l'air raréfié ; elle s'appuye par conséquent davantage sur toute la superficie du corps plongé. L'air qui a été raréfié dans les pores de celui-ci obéissant à cette nouvelle pression , se resserre dans un moindre espace , & l'eau va occuper les vuides qu'il a laissés. Voilà pourquoi ces corps étant ouverts après l'expérience , paroissent pénétrés ou remplis d'eau.

XVI. EXPERIENCE.

P R E P A R A T I O N .

On place , sous le récipient d'une machine pneumatique , un gobelet

X.
LEÇON.

de verre plus long que large, & rempli jusqu'aux deux tiers de biere, de lait, d'esprit-de-vin, ou d'eau un peu tiède, & l'on fait agir la pompe.

E F F E T S.

A mesure que l'air du récipient se raréfie, celui qui est contenu dans la liqueur se dégage, & s'élève à la surface en forme de bulles qui augmentent de plus en plus en nombre & en grandeur : celles de l'esprit-de-vin & de l'eau font une ébullition qui dure quelque temps ; & si l'on continue de faire le vuide, cet effet cesse enfin, & l'on ne voit plus sortir d'air : la biere & le lait s'élèvent en mousse, & se répandent hors du vaisseau. *Voyez la Fig. 34.*

E X P L I C A T I O N S.

C'est encore en supprimant la pression de l'air extérieure qu'on donne lieu à celui qui est répandu dans la liqueur de se dégager ; car n'étant plus chargé comme auparavant, il acquiert un plus grand volume, & sa légèreté respective plus puissante alors que le frottement & les autres causes qui ten-

dent à le retenir, ne manquent pas de
l'élever vers la surface.

X.
LEÇON.

Plus la liqueur est facile à diviser , plus les bulles d'air s'élevent promptement , plus elles s'aggrandissent aussi , parce qu'elles trouvent moins de résistance à vaincre , pour s'étendre : c'est pourquoi lorsque le récipient est évacué à un certain point , l'esprit-de-vin & l'eau tiede qui sont très-fluides , laissent tout d'un coup échapper leur air qui les soulèvent en gros bouillons. La biere & le lait au contraire étant des liqueurs visqueuses , ne se divisent que difficilement : les bulles d'air qui s'y forment , demeurent enveloppées de vésicules , & ne s'élevent que lentement ; & comme ces vésicules ne sont autre chose que les parties mêmes de la liqueur qui ont peine à se séparer , les bulles d'air , en les emportant , vident le vaisseau.

APPLICATIONS.

BIEN des personnes s'imaginent que tous les corps généralement se conservent très-long-temps dans le vuide ; mais il y a beaucoup à rabattre de ce

X.
LEÇON.

* Tome II.
page 121, &
suiv.

préjugé. Il est vrai que ceux qui sont de nature à se décomposer par l'évaporation d'une partie de leur substance, ou à se corrompre par l'humidité qui pourroit les pénétrer, périssent ordinairement moins vite dans le vuide que dans l'air libre, parce qu'ils ne sont plus entourés d'un fluide qui fait, comme nous l'avons dit *, la fonction d'une éponge ou d'un absorbant, & qui est toujours chargé de quelques vapeurs : mais il n'en est point ainsi de ceux qui portent en eux-mêmes un principe de fermentation ; car , 1^{ment}, en perdant l'air qui remplit leurs pores, le mouvement intestin de leurs parties n'en devient que plus libre ; 2^{ment}, cette liberté augmente encore par la suppression du poids ou du ressort de l'air extérieur ; ce qui me fait croire que les matieres de cette derniere espece se conserveroient mieux dans un air comprimé que dans le vuide.

- Le vin de Bourgogne qui a passé les Alpes n'a pas le même corps que celui qu'on boit en France ; il paroît moins coloré & plus pétillant : ne seroit-ce point parce qu'il auroit un peu travaillé

travaillé en passant sur les hautes montagnes où la pression de l'atmosphère étant moins grande qu'elle ne l'est dans la plaine, a pû donner lieu à quelque commencement de fermentation ? Ce qui me le feroit soupçonner, c'est qu'ayant tenu dans un air un peu raréfié, & pendant quelques jours, une bouteille de vin, au bouchon de laquelle j'avois pratiqué un petit trou, il me parut un peu défait, & à-peu-près semblable à celui que j'avois goûté en Piémont. Je dois ajouter cependant que plusieurs personnes dignes de foi m'ont assuré, que le vin de Bourgogne qui va par mer en Italie, est sujet à de pareils changemens : le même effet peut être produit par différentes causes.

L'air qui se dégage d'une liqueur en augmente nécessairement le volume jusqu'à ce qu'il en soit entièrement sorti, parce que les globules insensibles qui étoient logés dans les pores, se réunissant plusieurs ensemble, forment des masses plus grandes qui occupent de nouvelles places dans la liqueur : de même que si l'eau qu'on fait entrer, comme on fait, sans

X.
LEÇON.

X.
LEÇON.

difficulté dans un verre plein de cendres ou de sable , se convertissoit tout d'un coup en plusieurs petits glaçons de la grosseur d'une tête d'épingle , on conçoit bien que les deux matieres ne pourroient plus être contenues dans le même vase. L'air se dégage aussi dans les liqueurs qui fermentent , & l'effort qu'il fait pour en augmenter le volume , fait souvent casser les vaisseaux qui les contiennent.

IL est inutile de proposer ici aucune expérience , pour prouver qu'on peut faire sortir l'air d'une matiere , en la faisant chauffer fortement ; nous avons tous les jours sous les yeux assez d'exemples de cette seconde méthode , dans la préparation de nos alimens ; on entend , & l'on voit même sortir l'air des viandes & des fruits qu'on fait cuire , du bois verd qu'on met au feu , de l'eau , & des autres liqueurs que l'on fait bouillir. Les premiers bouillons doivent être attribués aux parties les plus grossieres de l'air , qui , dilatées par la chaleur dans un fluide qui se dilate lui-même , augmentent en volume , & soulèvent

avec violence ce qui s'oppose à leur extension & à leur ascension. Je dis les premiers bouillons ; car je ferai voir , en parlant du feu & de ses effets, qu'une liqueur qui continue de bouillir jusqu'à ce qu'elle soit entièrement évaporée , ne le fait pas en vertu d'une quantité d'air assez considérable pour fournir jusqu'à la fin. Mais quand l'air sort d'une liqueur que l'on fait chauffer , on voit à-peu-près le même effet que dans le vuide ; les bulles qui se forment ont d'autant plus de peine à se dégager , que la matiere qui les enveloppe est plus difficile à rompre ou à étendre : elles se dégagent donc & s'élèvent plus lentement dans du lait que dans de l'eau , & l'action du feu qui tend à les dilater agit plus long-temps sur chacune , & en même temps sur un plus grand nombre ; c'est pourquoi ces sortes de liqueurs , le beurre , les résines & les gommes fondues , se gonflent peu-à-peu , & surprennent , par des effervescences subites & assez souvent dangereuses , ceux qui les font chauffer avec trop peu d'attention.

A-peu-près comme l'eau sort d'une

C c ij

X.
LEÇON.

éponge mouillée que l'on presse, l'air se dégage de toutes les matieres dont les parties se rapprochent & se condensent fortement : on s'en apperçoit rarement dans les solides , parce qu'étant communément plongés dans l'air de l'atmosphère , celui qui sort de leur intérieur se mêle immédiatement avec un fluide semblable à lui-même , & qui empêche par cette raison , qu'on ne le distingue : ce n'est qu'en pressant ces corps dans l'eau , ou dans quelqu'autre liqueur , qu'on peut s'assurer de l'effet dont il est question.

Les liquides qui se gèlent , se désaisissent aussi de l'air qu'ils contiennent à mesure que leurs parties se rapprochent ; & quand cet air qui étoit disséminé dans les pores en particules insensibles , s'en trouve exclu , il se rassemble en plusieurs bulles , & prend différentes formes dans la masse , s'il s'y trouve renfermé & retenu par les progrès trop rapides de la congélation. Je pourrois appeller en preuves les phénomènes de la glace ; mais il fera temps d'en faire mention lorsque je traiterai de l'eau & de ses différens états.

Le dernier procédé, & celui qui est peut-être le plus efficace de tous, pour séparer l'air des matieres avec lesquelles il se trouve mêlé, c'est la division de leurs parties, sur-tout si cette division va jusqu'à les décomposer, comme il arrive ordinairement lorsqu'on fait putrier, fermenter, distiller, ou brûler les corps mixtes.

Que la quantité d'air que l'on tire ainsi, égale presque le volume des corps d'où il sort, c'est une merveille que l'on n'a dû croire que d'après l'expérience; mais que cet air extrait, & soumis au poids de l'atmosphère, surpasse un grand nombre de fois la grandeur de ces mêmes corps qui le contenoient, c'est ce qu'on ne peut apprendre sans étonnement; & l'on seroit tenté d'en douter, si les Auteurs les plus accrédités, de qui nous tenons cette découverte, n'avoient appuyé leurs temoignages sur un détail bien circonstancié de leurs épreuves. Celles de MM. Mariotte & Hales m'ont paru les plus décisives; c'est dans leurs écrits que j'ai puisé les preuves suivantes: le lecteur qui prendra la peine de les chercher dans leurs

310 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON.

sources, y trouvera un grand nombre de faits, plus curieux les uns que les autres, & qui établissent de concert la doctrine que je viens d'exposer.

XVII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA Fig. 35. représente une tasse de métal fort mince, au fond de laquelle on a pratiqué un enfoncement que l'on emplit d'une grosse goutte d'eau; on verse ensuite de l'huile d'olives, jusqu'à la hauteur d'un travers de doigt, & l'on couvre la goutte d'eau d'un petit vase de verre qui a la forme & à-peu-près la grandeur d'un dé à coudre, ayant attention qu'il soit plein d'huile, ce qu'il est aisé de faire en l'inclinant dans la tasse avant que de le placer debout.

E F F E T S.

Si l'ontient la tasse sur une bougie ou sur une lampe allumée, pour faire chauffer la goutte d'eau; 1°. Il s'en élève peu-à-peu une grande quantité de petites bulles d'air, qui, lorsque tout est refroidi, occupent dans le vase de

verre, un espace plus grand (a) que le volume de la goutte d'eau d'où elles sont sorties : 2°. l'huile qui reste dans le petit vase de verre, perd sa transparence, en se refroidissant.

X.
LEÇON.

EXPLICATIONS.

A mesure que la goutte d'eau s'échauffe, les parties s'écartent un peu les unes des autres; les pores ou petits intervalles qui sont entr'elles, se dilatent, les particules d'air qui se trouvoient retenues deviennent plus libres, & leur légèreté respective suffit alors pour les dégager entièrement, & pour les élever dans la partie supérieure du petit vase de verre. Mais ce qui aide encore davantage cette séparation, c'est que la même chaleur qui dilate la goutte d'eau, dilate aussi les petites bulles d'air, & leur volume considérablement augmenté les rend d'autant plus légères, & par conséquent d'autant plus propres à s'élever au-dessus de l'eau & de l'huile. On peut

(a) M. Mariotte dit 8 ou 10 fois plus grand; cependant quoique j'aye répété cette expérience bien des fois, & avec soin, je n'ai jamais trouvé tant d'air au haut du petit vase.

X.
LEÇON.

ajouter encore que la liquidité de l'eau & de l'huile augmente par l'action du feu, que le frottement & la viscosité diminuent d'autant; ce qui donne lieu aux bulles d'air de se dégager & de s'élever plus facilement.

La colonne d'huile qui couvre la goutte d'eau devient opaque, parce que la chaleur y élève la vapeur de l'eau, qui se mêle aux parties de l'huile, & qui forme avec elles des molécules dont l'assemblage devient moins perméable à la lumière : soit que les pores de ce liquide composé soient moins directs qu'ils ne le sont dans l'eau & dans l'huile séparément; soit que ses parties deviennent trop grossières. Cette dernière raison (qui n'exclut point l'autre) paroît d'autant plus probable, que cette même huile chargée d'eau & devenue opaque, reprend presque sa première transparence lorsqu'on la fait chauffer de nouveau, sans doute, parce qu'alors les parties atténuées par l'action du feu laissent à la lumière un passage plus libre.

XVIII. EXPERIENCE.

X.

LEÇON.

PREPARATION.

LA préparation de cette expérience se fait à-peu-près comme celle de la précédente, excepté seulement, qu'on employe des vases plus grands, & qu'au lieu d'une goutte d'eau au fond de l'huile, on met dans de l'eau tiède un petit cylindre de sucre commun, égal à la partie *AB*, prise intérieurement. *Fig. 35.*

EFFETS.

A mesure que le sucre se fond dans l'eau, on en voit sortir des bulles d'air qui s'élèvent vers la partie supérieure du vaisseau; & lorsque la dissolution est faite, la quantité d'air qui s'est élevée égale assez souvent les $\frac{2}{3}$ ou les $\frac{3}{4}$ de l'espace *AB*.

EXPLICATIONS.

L'eau chaude, en pénétrant dans le sucre, désunit ses parties, & les subdivise; alors les petites bulles d'air qu'elles renfermoient entr'elles, étant comme isolées, s'élèvent au travers de

X.
LEÇON.

l'eau qui est toujours beaucoup plus pesante. La quantité de ces particules d'air varie selon la qualité du sucre, & la solution plus ou moins parfaite de sa masse : mais on peut toujours comparer le volume d'air qui est sorti, à celui du sucre qu'on a fait fondre, puisque l'espace *AB* sert de mesure commune à l'un & à l'autre.

XIX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut joindre la cornue *AB*, Fig. 36. dans laquelle on aura mis quelque matière à distiller, au matras *AC*, avec quelque espèce de lut qui ne se fonde point à une médiocre chaleur, & qui ne se dissolve point non plus par une légère humidité. Ces deux vaisseaux étant ainsi joints, il faut faire entrer dans le col du dernier une branche du siphon *EDF*, par un trou pratiqué au fond du vaisseau; on plonge ensuite le matras & le siphon dans l'eau, afin que le premier s'emplisse par *D*, jusqu'à la hauteur *F*; ce qui se fait aisément par le moyen du siphon qui permet à l'air de s'échapper : on ôte

ensuite ce siphon , & l'eau demeure suspendue à la hauteur F , par la pression de l'atmosphère qui agit sur celle du bacquet. Enfin l'on chauffe la cornue , en la posant sur un fourneau disposé à une hauteur convenable. Si les matieres que l'on distille rendent de l'air , on s'en apperçoit , parce que le volume de celui qui est renfermé en AF , augmente ; si au contraire elles en absorbent , comme il paroît en certains cas , on le voit aussi par la diminution de ce même volume d'air. Et si l'on veut comparer la quantité d'air rendu ou absorbé , à celle des matieres qu'on a mises dans la cornue , on le peut facilement en réduisant à une mesure connue , comme au pouce cubique , par exemple , ce qu'on met dans la cornue : car après la distillation , on pourra voir combien il faut de pouces cubiques d'eau pour remplir l'espace occupé par l'air , en plus au-dessous , ou en moins au-dessus de F .

Mais ce volume d'air que l'on veut mesurer , ne doit l'être que quand tout est refroidi au même degré que l'étoit celui de la partie AF , au moment

D d ij

X.
LEÇON.

X.
LEÇON.

que l'on a commencé l'expérience ; car on fait combien quelques degrés de chaleur de plus ou de moins peuvent faire varier les dimensions de ce fluide ; & pour n'avoir point d'erreur considérable à soupçonner à cet égard, il faudroit y avoir enfermé un petit thermomètre très-sensible.

Une autre attention que l'on doit avoir encore, si l'on veut procéder avec exactitude, c'est de consulter la hauteur du baromètre, au commencement & à la fin de l'expérience, pour s'assurer si le poids de l'atmosphère n'a point varié pendant l'opération ; car il est certain que le volume d'air contenu dans le col du matras doit augmenter ou diminuer, selon que l'eau y sera poussée plus ou moins haut, par la pression de l'air extérieur sur la surface du bacquet.

Enfin s'il s'agissoit d'une exactitude scrupuleuse, on devroit considérer encore, que la colonne d'eau qui demeure au-dessus du niveau, ou qui est portée au-dessous, par la quantité plus ou moins grande de l'air qui occupe le col du matras, empêche que cet air ne soit jamais d'une densité

parfaitement égale à celle de l'air extérieur ; mais heureusement dans la plupart de ces épreuves , on peut se contenter d'un à-peu-près ; & le Physicien doit souvent se mettre au-dessus des minucies , pour n'être point découragé dans ses recherches.

X.
LEÇON.

E F F E T S.

Par des procédés à-peu-près semblables à celui que je viens de décrire , M. Hales * ayant éprouvé toutes sortes de matieres animales , végétales & minérales , solides & liquides , a trouvé , par exemple , qu'un ponce cubique de sang de cochon , distillé jusqu'aux scories seches , produisoit 33 ponces cubiques d'air.

* Stat. des
Véget. ch. 6.

Que la moitié d'un ponce cubique de la pointe des cornes d'un daim , donnoit 117 ponces cubiques d'air , ce qui faisoit un volume 234 fois aussi grand que celui de la matiere distillée.

Que d'un demi-ponce cubique de bois de chêne , il en sortoit 128 ponces cubiques d'air.

Que d'un ponce cubique de terre

318 LEÇONS DE PHYSIQUE
vierge, il vint à la distillation 43 fois
autant d'air.

X.
LEÇON.

Le même Auteur trouva que l'eau forte, le soufre, & plusieurs autres matieres, bien loin de rendre de l'air, en absorboient; c'est-à-dire, qu'après la distillation, le volume d'air contenu en *AF*, se trouvoit moins grand qu'il n'étoit avant l'expérience.

EXPLICATIONS.

Lorsqu'on distille une matiere, l'action du feu divise ses parties, les réduit, & les élève en vapeurs. Les particules d'air qui se trouvent dans la masse demeurant isolées par sa division, & par son évaporation, s'unissent avec le volume d'air qui est renfermé dans la cornue & dans le col du matras, & ce volume est d'autant augmenté: de-là il arrive que la surface de l'eau baisse communément au-dessous de *F*.

Mais si la matiere que l'on distille est de telle nature que l'air s'unisse à elle plus facilement & plus fortement qu'il ne peut s'unir avec d'autre air, non-seulement cette matiere ne se défait point des particules d'air qu'elle

contient; mais acquérant plus de surface par sa division, elle s'approprie encore de nouvelles parties d'air en passant par l'espace AF ; & l'eau s'élève d'autant, pour occuper la place de l'air absorbé.

X.
LEÇON.

Ce que l'on a de la peine à comprendre, c'est qu'il puisse se loger une si grande quantité d'air dans certaines matieres, sans qu'il y paroisse comprimé, autant qu'il faudroit qu'il le fût, si l'on vouloit le réduire à un aussi petit volume, lorsqu'une fois il est dégagé; car quelle force ne faudroit-il pas pour restreindre dans l'espace d'un demi-pouce cubique 234 fois autant d'air semblable à celui de l'atmosphère?

Ce phénomène nous apprend que l'air intimement mêlé à d'autres matieres, y est dans un état tout différent de celui où nous le voyons lorsqu'il en est dégagé; quel est donc cet état de l'air dans l'intérieur des corps? & comment en reçoit-il un autre lorsqu'il se dégage?

On peut supposer, comme l'ont fait plusieurs habiles Physiciens * de nos jours, que les parties de l'air,

* M. de Mairan, *Dis-*

X.

LEÇON.

*sertat. sur la
glace.**Mariotte ,
Essais sur la
nature & les
propriétés de
l'air.*

lorsqu'il est intimement mêlé à quel-
qu'autre matiere , ne se touchent plus ;
& qu'elles sont immédiatement ap-
pliquées aux parties même du corps
qui les contient , comme pourroient
être de petits poils ou des filets de
coton qui envelopperoient , par
exemple , des grains de sable , ou qui
seroient logés séparément dans les in-
tervalles qui se trouveroient à rem-
plir entre ces mêmes grains rassem-
blés en une masse : car quoique plu-
sieurs brins de coton ensemble for-
ment ordinairement un petit flocon
flexible , & qui occupe un espace
assez sensible , à cause de tous les vui-
des qui font partie de son volume ;
on conçoit bien cependant qu'il en
occuperoit incomparablement moins
par sa matiere propre , & si ses vui-
des remplis d'une autre substance ne
contribuoient plus à sa grandeur. On
doit convenir aussi que sa flexibilité ,
& par conséquent son ressort , seroit
nulle , si chacun de ces petits filets
étoit soutenu par un corps dur , com-
me il arriveroit infailliblement , si l'es-
pace de l'un à l'autre étoit rempli par
une matiere solide.

Cette hypothese est d'autant plus vraisemblable, que l'air ne paroît contribuer ni à la compressibilité des corps, ni à leur dilatabilité : l'esprit-de-vin des thermomètres étant purgé d'air *, n'en paroît ni plus ni moins sensible à l'augmentation du froid ou du chaud : & les corps qu'on a tenus dans le vuide, n'en sont pas moins compressibles, quoiqu'on en ait vu sortir une quantité d'air assez considérable. L'air dans l'intérieur des corps, est donc, comme dit M. Hales, dans un état de fixité ; & lors même qu'il s'en dégage, il n'acquiert point de ressort, s'il emporte avec lui quelque substance étrangere qui l'empêche de se joindre à d'autre air, pour former de petits globules : car ce n'est que dans ce dernier état, qu'il peut être flexible & élastique.

Ce raisonnement, je l'avoue, est fondé sur des faits incontestables ; mais il en est d'autres, qui ne sont ni moins certains ni moins connus, & qui nous portent à raisonner tout autrement ; lorsqu'une matiere passe dans le vuide, ou que l'action du feu ou d'un dissolvant diminue, ou fait

X.
LEÇON.

* Voyez les
Mémoires de
l'Acad. pour
l'ann. 1731.
p. 267.

X.
LEÇON.

cesser la cohérence de ses parties, on voit aussi-tôt l'air s'en dégager ; ne devons-nous pas penser que cet air étoit dans l'état d'un ressort tendu , & qu'il n'attendoit pour se déployer que la suppression des obstacles qui l'en empêchoient ?

Voici ce que l'on peut dire pour concilier ces phénomènes qui semblent se contredire : l'air , dans la plupart des corps , se trouve sous deux états différens ; les plus grands vuides , ces pores qui communiquent ensemble , le contiennent en globules , ou pour mieux dire , en petites colonnes que le poids de l'atmosphère a condensées , & qui , par la continuité de leurs parties ont conservé la faculté de s'étendre & de se porter en dehors lorsque la pression extérieure vient à cesser ; l'autre air beaucoup plus divisé , ne remplit que des pores isolés plus petits , & la matière qui l'environne a plus de cohérence qu'il n'a d'élasticité. Pour dégager le premier , il suffit ou d'augmenter fortement son ressort par la chaleur , ou de lever l'obstacle qui le tient tendu : ces deux moyens sont faciles ; 1^{ment} , par-

Ce que le ressort de l'air s'anime d'autant mieux que son volume est plus grand ; 2^{ment}, parce que les pores qui contiennent ces petites colonnes sont ouverts jusqu'à la surface. Il n'en est pas de même de l'autre air, il faut, pour l'extraire, diviser le corps jusques dans ses moindres parties ; & comme on suppose ce fluide réduit presque à ses premiers élémens, on ne doit rien attendre de son ressort, pour aider cette séparation.

X.
LEÇON.

A l'aide de cette supposition, je conçois comment l'air ne rend ni plus dilatables, ni plus compressibles les matières avec lesquelles il est mêlé, quoiqu'il y jouisse de son élasticité ; car 1°. si les petits globules contigus les uns aux autres dans toute l'étendue de chaque pore, s'y trouvent contenus comme dans une gaine, dont les parties solides se soutiennent mutuellement, ce canal comprimé par dehors, n'empruntera rien de la flexibilité de l'air qu'il renferme, & par conséquent le corps entier qui n'est qu'un assemblage de ces tuyaux, ne sera ni plus ni moins compressible, soit que ses pores soient

 X.
LEÇON.

remplis d'air, soit qu'ils en soient vuides. 2^o. Si ces colonnes d'air moulées dans les pores sont composées de globules fort petits, comme on le doit supposer, l'action modérée du feu ne pourra les dilater que très-peu ; & leur accroissement n'excédera pas sensiblement celui des pores qui se dilatent aussi par le même degré de chaleur : ainsi la masse totale ne sera ni plus ni moins dilatable, soit qu'elle contienne de l'air élastique, soit qu'elle n'en contienne pas.

Mais cet air même le plus intimement mêlé, celui que nous regardons comme n'ayant point de ressort, parce qu'il est extrêmement divisé, n'en a-t-il point en effet ? Ses parties, au lieu d'être devenues trop courtes pour être flexibles, ne seroient-elles pas plutôt repliées sur elles-mêmes autant qu'il est possible qu'elles le soient ? & leur inflexibilité ne viendrait-elle pas de ce qu'elles ne pourroient plus s'approcher davantage, à-peu-près comme un fil roulé en peloton, devient un corps dur qu'on a peine à comprimer, & qui, lorsqu'il se développe, occupe une place

incomparablement plus grande. En m'arrêtant à cette idée, j'apperçois la raison pour laquelle cet air extrait des corps prend un volume si considérable qu'il excède deux ou trois cens fois celui dont il faisoit partie. La nature a pu se ménager des moyens pour restreindre ainsi les particules d'air qu'elle fait entrer dans la composition des mixtes ; & la cohérence de ces mêmes corps, quelle qu'en soit la cause, est une puissance qui peut suffire pour résister à sa réaction.

Une raison que l'on peut ajouter encore pour expliquer cette prodigieuse extension de l'air extrait, c'est que cet air n'est point pur ; c'est un fluide composé, qui tient beaucoup des matieres d'où il sort ; je ne veux pour preuves que les effets dont il est capable : celui que l'on tire de la pâte fermentée, des fruits, & de la plupart des végétaux, éteint le feu, suffoque les animaux, & se fait sentir par une odeur pénétrante * ; il est donc évident que cet air est chargé d'une vapeur abondante, qui fait partie de son volume, & l'on sait d'ailleurs que toutes les substances qui s'é-

X.
LEÇON.

*Boyle, *Exp^a Phys. Mech. continuat.* 2.
Hales, *Stat. des végét.* p. 152.

X.
LEÇON.

vaporent , s'étendent prodigieusement ; ainsi les cent vingt-huit pouces cubiques d'air qui sortent d'un demi-pouce cubique de bois de chêne , se réduiroient vraisemblablement à une quantité bien moins grande , si l'on en séparoit ce qu'ils contiennent d'étranger.

APPLICATIONS.

LES alimens tant solides que liquides qui entrent dans l'estomac , s'y décomposent par la digestion ; ils se défaisissent par conséquent de l'air qu'ils contiennent ; cet air ainsi dégagé se rassemble en bulles , & prend un volume beaucoup plus considérable ; non-seulement parce qu'il se développe & s'étend lorsqu'il est libre , comme on l'a vû par les expériences précédentes ; mais encore parce qu'il éprouve un degré de chaleur assez grand , qui dilate ce fluide d'autant plus que sa masse est plus ample,

Si l'air qui se dégage ainsi des alimens dans l'estomac , ne trouve point d'issue libre pour en sortir , il presse & distend les parties qui le retiennent , & ses efforts font naître quel-

quelquefois des douleurs assez vives, que l'on nomme *coliques de vents*.

X.
LEÇON.

Lorsque rien ne s'oppose à son passage, il sort par la bouche, & cause ces rapports le plus souvent désagréables & plus ou moins fréquens, selon la quantité des alimens qu'on a pris, leurs qualités, leurs préparations, ou la disposition actuelle de l'estomac qui les digère.

Ces rapports déplaisent presque toujours, quoique l'on ait mangé ou bû des substances qui soient par elles-mêmes d'une odeur & d'un goût fort agréables: c'est que la digestion les décompose, & que l'air qui s'en exhale n'en emporte que des extraits: or dans les alimens les plus sains, il y a des parties, qui lorsqu'elles sont séparées des autres, sont capables d'affecter nos sens d'une manière déplaisante ou même dangereuse. Le pain & la pâte de froment, le raisin & les autres fruits, &c. sont du goût de tout le monde, & ne nuisent point au commun des hommes; cependant l'air qui en sort, quand on les fait fermenter, est infect & mortel.

Un estomac surchargé d'alimens,

 X.
LEÇON.

est plus incommode qu'un autre de ces sortes d'exhalaisons ; on en voit assez la raison. Mais la qualité & la préparation sont deux choses qui ont beaucoup de part à cet effet. En général les liqueurs spiritueuses & fermentées comme le vin, la biere, &c. & tous les alimens cruds, portent avec eux une très-grande quantité d'air ; & l'on doit s'attendre d'en être incommode, si l'on n'en use avec modération.

Un usage modéré des alimens ne garantit pas même toujours des rapports d'estomac ; on voit des personnes précautionnées & sobres, qui s'en plaignent beaucoup. C'est qu'alors il y a sans doute quelque humeur vicieuse qui occasionne une mauvaise digestion. Suivant nos principes, cette digestion est mauvaise par excès ; car puisqu'elle rend une plus grande quantité d'air, il paroît que les alimens sont plus divisés ; ainsi en pareil cas, on pourroit dire peut-être que l'on digere trop ; mais ceci passe les bornes de mon dessein, c'est une question que je soumetts à l'examen de la faculté.

En

En certains temps de l'année le vin & la biere travaillent dans les tonneaux & dans les bouteilles ; c'est-à-dire , qu'il s'y fait une légère fermentation , sur-tout si ces liqueurs sont remuées ou placées dans des lieux qui ne soient pas assez frais. Ces mouvemens intestins ne manquent point de donner lieu aux particules d'air de se dégager & de monter à la surface ; & comme il lui faut alors beaucoup plus de place qu'il n'en occupoit lorsqu'il étoit divisé & logé dans les pores , il sort avec impétuosité , dès qu'on débouche les vaisseaux , & ses efforts vont même jusqu'à les faire crever , lorsqu'on néglige de lui ouvrir un passage.

Dans les laboratoires de chymie , les artistes ont grand soin de laisser une issue à l'air , quand ils lutent leurs vaisseaux ; l'usage leur a appris que sans cette précaution , les ballons sont en danger de crever avec éclat : quand cet accident arrive , on a coutume de s'en prendre à la masse d'air qu'on a laissé enfermé dans le récipient , & que la chaleur dilate ; & en effet cette cause y contribue , mais la rupture

X.
LEÇON.

330 LEÇONS DE PHYSIQUE

X.
LEÇON.

des vaisseaux vient principalement de la quantité d'air qui sort de la plupart des matieres qu'on distille ; car pour l'ordinaire , le ballon est capable de résister aux efforts de l'air qu'on y renferme , & qui n'y souffre qu'un degré de chaleur assez médiocre.

Quand on enfonce une canne ou un bâton dans la vase au bord d'une riviere ou d'un étang , on voit communément beaucoup de bulles d'air s'élever à la surface de l'eau ; cet air vient sans doute des feuilles , des branches d'arbres , des plantes & autres végétaux qui se sont amassés & pourris au fond ; il demeure engagé dans la boue jusqu'à ce qu'on lui ouvre une issue.

Si l'on fait sortir l'air d'une matiere sans désunir les parties de sa masse , en la plaçant , par exemple , dans le vuide ; dès qu'on l'expose ensuite à l'air libre , elle reprend ce qu'on lui a ôté , à-peu-près comme une éponge qui se remplit toujours d'eau , toutes les fois qu'on l'y plonge après l'avoir pressée. M. Mariotte *

* Essai sur
la nature &
les propriétés
de l'air.

s'est assuré du fait par une expérience

aussi simple qu'ingénieuse. Il purgea d'air une certaine quantité d'eau , en la faisant bouillir ; & en la mettant ensuite quelque temps dans le vuide , il en remplit une phiole qu'il renversa dans un vase plein d'eau , sans la boucher , en observant de faire monter dans le haut une bulle d'air de la grosseur d'une aveline ; peu-à-peu il vit diminuer cet air , qui disparut enfin tout-à-fait au bout d'environ 3 jours , ce qui lui fit connoître évidemment que l'eau de la phiole s'en étoit saisie ; ce qui s'est passé à l'égard de l'eau , arriveroit sans doute à tout autre matiere ; on pourroit tout-au-plus soupçonner quelques variétés , dans la quantité d'air qui rentre , ou dans le temps qu'il met à rentrer.

Des expériences d'un autre genre auxquelles j'étois occupé , ayant exigé que je fusse avec plus de précision , en combien de temps l'eau peut reprendre l'air qu'elle a perdu par l'ébullition & par la suppression du poids de l'atmosphère , je fis l'expérience qui suit.

X.
LEÇON

A Fig. 37. est une caraffe que je remplis d'eau , récemment purgée d'air , environ jusqu'aux deux tiers de sa capacité ; je la bouche avec du liege que je couvre ensuite d'une couche de cire fondue & mêlée avec de la térébenthine ; au travers de ce bouchon je fais passer le bout du tuyau de verre *BCD* , qui est recourbé en deux sens opposés , & dont la partie *CD* attachée sur une planche graduée en pouces & en lignes , est soutenue verticalement sur un pied. Je fais encore passer au travers du même bouchon le tube d'un thermomètre , dont la boule est en partie plongée dans l'eau de la caraffe. Je place ensuite cette même caraffe dans un seau qui est rempli d'eau , ainsi que la partie *CE* du tuyau ; je marque alors avec un fil *K* , la hauteur du thermomètre , & j'observe au baromètre celle du mercure , au moment que je commence l'expérience.

Tout étant ainsi disposé, je remarque de 12 en 12 heures l'ascension de l'eau dans le tuyau au-dessus du point *E*; & pour être sûr que l'air est toujours d'une égale densité entre l'eau du tuyau & celle de la caraffe, à chaque observation, je prend soin, 1^o, de rappeler le bain du seau *GH* à sa première température, en le réchauffant ou en le refroidissant jusqu'à ce que la liqueur du thermomètre revienne; & se fixe au fil *K*, 2^o: Je vois de combien le mercure a haussé ou baissé dans le baromètre: & comme une ligne de mercure répond à 14 lignes d'eau pour le poids, je les ajoute où je les diminue dans la partie *CD* du tuyau, afin que la pression de l'atmosphère demeure toujours à-peu-près la même.

La quantité d'eau qui s'élève au-dessus du point *E*, indique, comme on voit, le volume d'air qui rentre dans l'eau de la caraffe; & après l'expérience, on peut comparer ce volume d'air à celui de l'eau dans laquelle il rentre, en mesurant avec un chalumeau renflé *F*, combien de fois l'eau de la caraffe surpasse celle qui

s'est élevée au-dessus du point *E*.

X.
LEÇON.

E F F E T S.

En procédant ainsi j'ai observé :
1°, Que l'eau du tuyau s'est élevée continuellement pendant 7 à 8 jours au-dessus de *E* :

2°, Que le progrès de son ascension a toujours été en diminuant, de façon que dès le sixieme jour, il étoit presque insensible ;

3°, Que la somme de toutes les quantités d'eau élevées égaloit à-peu-près la trentieme partie de celle de la caraffe.

E X P L I C A T I O N S.

La masse d'eau qui est dans la caraffe, est à l'égard de l'air qui est contenu au-dessus, à-peu-près comme un corps spongieux que l'on a pressé ou desséché, & que l'on applique à la surface de quelque liqueur ; les pores qui ont été vuidés, comme autant de petits tubes capillaires, absorbent le fluide qui s'y présente, & qui est encore aidé par la pression de l'atmosphère qui agit en *D*. Mais comme l'air est composé de parties rameuses, ou

EXPERIMENTALE. 335

de petites lames tortillées, ce n'est que peu-à-peu qu'il s'atténue, & que ses globules peuvent se proportionner aux petites capacités tortueuses qu'il doit remplir; la difficulté qu'il a pour s'introduire dans l'eau, devient d'autant plus grande, que la masse de la liqueur est plus profonde; & c'est par ces raisons, sans doute, qu'il la pénètre si lentement, & que les progrès de cette pénétration vont toujours en diminuant.

X.
LEÇON.

APPLICATIONS.

EN suivant le procédé de l'expérience précédente, on peut connoître à-peu-près la quantité d'air que l'on a fait sortir d'une matiere; car il y a toute apparence, qu'après un temps suffisant, ce qui est rentré est égal à ce qui en étoit sorti; & conséquemment on pourra juger entre plusieurs especes, celle qui abonde le plus en air, celle qui le reprend plus promptement, & combien de temps on peut la regarder comme étant purgée d'air.

Ne pourroit-on pas même par ce moyen introduire certaines odeurs

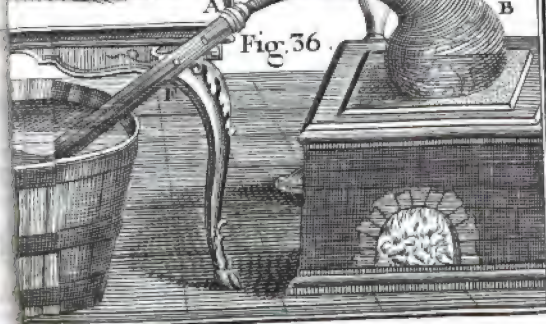
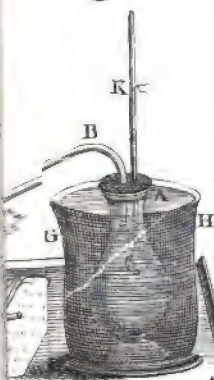
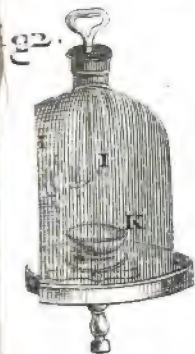
212 LEÇONS DE PHYS. EXPER.

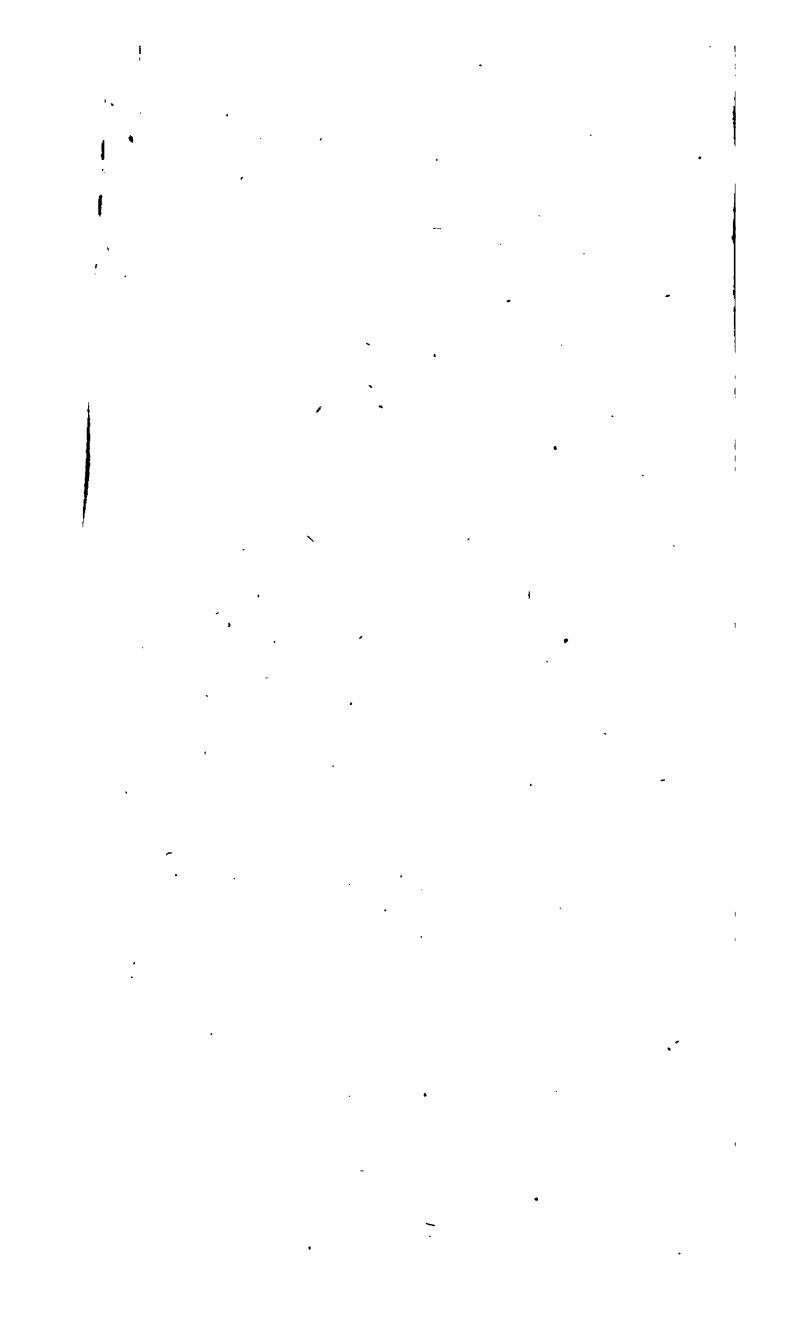
= dans des matieres fluides ? car l'air en y rentrant , pourroit servir de véhicule aux parties odorantes , dont il se charge très-facilement , & en très-grande quantité.

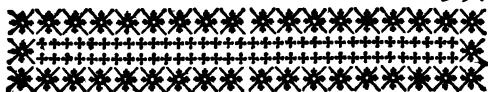
Ces différentes vûes ouvrent un champ assez vaste à de nouvelles & curieuses expériences ; j'en ai déjà tenté avec quelque succès plusieurs , dont je rendrai compte ailleurs ; je fouhaite que mon exemple excite le zele des Physiciens ; la même matiere maniée par différentes mains , fournit ordinairement un plus grand nombre de connoissances.



XI. LEÇON.







XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'Air.

II. SECTION.

*De l'Air considéré comme Atmo-
sphere terrestre,*

LA plûpart des matieres terrestres contiennent beaucoup d'air entre leurs parties, comme nous l'avons fait voir à la fin de la Leçon précédente ; réciproquement aussi, une masse d'air quelconque se trouve toujours mêlée de quelques substances étrangères, & l'on peut dire d'elle, comme de tout autre corps, qu'elle n'est jamais parfaitement pure, c'est-à-dire, qu'elle comprend toujours dans son volume quelqu'autre chose que sa matiere propre. Tout ce qui s'exhale de la terre & des eaux, des animaux & des plantes, entre aussi-tôt

XI.
LEÇON,

Tome III.

F f

338 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
LEÇON.

*Tome II.
page 110. &
suiv.

dans cet élément que nous respirons ; dans lequel nous vivons , & à qui l'on a donné le nom d'*Atmosphere* , parce qu'il envelope de toutes parts le globe dont nous habitons la surface. C'est un fait dont nous avons essayé de rendre raison *, en supposant qu'il étoit suffisamment connu ; & en effet , si l'on en pouvoit douter , la dissipation d'une infinité de substances qui disparoissent tous les jours à nos yeux , & l'opinion raisonnable & généralement reçue , que rien ne s'anéantit de tout ce qui a été créé , suffiroient pour nous convaincre de cette vérité : lorsque le feu décompose un mixte , ne voyons-nous pas les parties les plus subtiles s'élever en flamme & en fumée ! Quand le cadavre d'un chien ou d'un cheval qu'on a jeté à la voirie , diminue de jour en jour , & devient à rien , n'est-ce point toujours en infectant les environs par une mauvaise odeur , effet , comme on fait , des parties qui s'en exhalent ? Enfin quelqu'un ignore-t-il que les vaisseaux qui contiennent des liqueurs , se vuident par évaporation , si l'on néglige de les boucher ? L'at

mosphere terrestre est donc un fluide mixte, un air chargé d'exhalaisons & de vapeurs. Son état varie selon les temps & les lieux, parce que les parties qui entrent dans ce mélange, ne sont pas toujours ni par-tout en même quantité, ni avec les mêmes qualités.

On peut considérer l'atmosphere sous deux aspects différens : 1^{ment}, comme un fluide en repos, qui pèse également de toutes parts sur la terre, qui reçoit d'elle des matieres de différentes natures, qui les soutient pendant un temps, qui les laisse retomber, & qui nous transmet le chaud & le froid dont il est susceptible : 2^{ment}, comme un fluide agité, dont les mouvemens peuvent être différemment modifiés. En examinant l'atmosphere sous ces deux points de vûe, nous parcourons dans les deux articles suivans ses principales propriétés.

ARTICLE PREMIER

De l'Atmosphere considérée comme un fluide en repos.

Le repos que je suppose ici ne doit point s'entendre dans un sens

absolu, & pour toute l'atmosphère en même-temps ; car à la rigueur les parties qui la composent sont dans un mouvement presque continu, puisqu'elles s'élèvent ou s'abaissent fréquemment, & que les changemens de température les étendent ou les resserrent alternativement. Indépendamment de ces vicissitudes, il ne regne jamais un calme si complet dans ce vaste fluide, qu'il n'y en ait toujours quelque portion agitée ; & d'ailleurs l'atmosphère est une dépendance du globe terrestre qui se meut comme lui & avec lui en 24 heures sur un axe commun, & en un an dans le même orbe autour du soleil ; ainsi quand je la considère comme étant en repos, c'est bien moins en lui attribuant absolument cet état, qu'en faisant abstraction de ses principaux mouvemens.

Nous ne voyons jamais qu'aucune portion de l'atmosphère perde sa fluidité, quoiqu'une grande partie de ce qui la compose soit propre à former des corps solides : l'eau s'y durcit & retombe en petits glaçons ; mais l'air dans lequel elle étoit soutenue ne se

EXPERIMENTALE. 341

congéle point avec elle ; c'est que ces parties aqueuses , quelque abondantes qu'elles soient , ne le sont jamais assez pour intercepter entièrement la contiguité des parties propres d'un volume d'air un peu considérable ; & cet élément , tant qu'il fait masse conserve toujours son ressort , qui paroît être , comme nous l'avons dit ci-dessus , la principale cause de sa fluidité.

XI.
LEÇON.

Toute matiere qui appartient à la terre a une tendance naturelle vers le centre de cette planete. Or comme l'atmosphere est composée d'air , & d'un extrait , pour ainsi dire , de tous les corps sublunaires , dont nous avons prouvé la pesanteur dans les Leçons précédentes , on ne peut douter qu'elle ne pèse sur nous & sur tout ce qui s'y trouve plongé comme nous : on en a douté cependant , ou plutôt , on a été très-long-temps sans y faire attention. Nous avons dit ailleurs * de quelle maniere enfin l'on s'en est convaincu , & comment la connoissance du poids de l'atmosphere a éclairé les Physiciens sur plusieurs phénomènes qui en résultent.

* Tome I. p.
290. & suiv.

342 LEÇONS DE PHYSIQUE

--- --- XI. LEÇON.

Mais cette pesanteur est celle d'un fluide ; elle doit donc croître & diminuer selon la hauteur des colonnes & la largeur de leur base ; c'est aussi selon cette proportion qu'elle agit , comme on l'a déjà vu dans la septieme Leçon , où nous avons rapporté l'origine du baromètre , ses principaux usages , & l'épreuve qu'on en fit dans les différentes stations de la montagne du Puy de Dome en Auvergne : je rapporterai encore ici une expérience du même genre , & d'une exécution plus facile , qui me donnera occasion d'exposer ce qu'il me reste à dire sur cette matière.

PREMIERE EXPERIENCE.

P R E P A R A T I O N .

IL faut faire choix de quelque lieu élevé & accessible , comme d'une tour , d'un clocher , ou de quelque autre édifice , dont on puisse aisément mesurer la hauteur perpendiculaire , & se munir de deux baromètres bien semblables ; c'est-à-dire , que dans le même lieu le mercure soit toujours dans l'un & dans l'autre à des hau-

teurs pareilles. On laisse un de ces instrumens au pied de la tour avec un Observateur qui examine attentivement, s'il n'arrive point de variation à la hauteur du mercure, pendant qu'on porte l'autre en haut.

XI.
LEÇON.

E F F E T S.

1°. A mesure qu'on s'élève avec le baromètre, le mercure s'abaisse dans le tube, comme je l'ai déjà dit * en rapportant l'expérience de M. Pascal, exécutée au Puy de Dome par M. Perrier. * Tome II^e
page 300.

2°. Si, lorsque le mercure s'est abaissé d'une ligne, on mesure la hauteur de l'endroit où l'on fait cette première station, on trouve qu'elle est d'environ 12 toises.

3°. Si l'édifice ou la nature du lieu permet que l'on s'élève davantage à des hauteurs connues ou mesurables, on trouve que les stations suivantes, qui se font à chaque fois qu'on observe une ligne d'abaissement au mercure, sont toujours à-peu-près de 12 toises les unes au-dessus des autres.

4°. On remarque que les hauteurs perpendiculaires de toutes ces sta-

344 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
LEÇON.

tions , dont chacune répond à une ligne d'abaissement du mercure , sont d'autant plus petites que l'air pèse davantage dans le temps de l'expérience , soit par le peu d'élévation du lieu où l'on opere , soit par l'état actuel de l'atmosphère.

5°. Si l'on répète cette épreuve dans des lieux qui ne soient que médiocrement éloignés les uns des autres , & dans des circonstances qui rendent la pression de l'atmosphère à-peu-près semblable , on trouve aussi à-peu-près les mêmes résultats ; mais lorsque les distances sont très-grandes , comme de 400 ou 500 lieues , on peut s'attendre à des différences assez considérables.

EXPLICATIONS.

L'atmosphère ayant plus de hauteur à compter du raiz-de-chaussée d'une tour , ou du pied d'une montagne , qu'elle n'en a à toutes les stations que l'on fait en montant , son poids est aussi plus grand ; & s'il est capable de soutenir d'abord 27 pouces $\frac{1}{2}$ de mercure dans chaque baromètre , celui des deux que l'on por,

te plus haut se trouve sous une colonne d'air plus courte, qui, par conséquent soutient moins de mercure.

XI.
LEÇON.

Cette diminution de poids dans la colonne de l'atmosphère ne peut être attribuée qu'à son raccourcissement ; car le baromètre de comparaison qu'on a laissé dans le lieu le plus bas , & qui soutient une colonne entière , soit qu'il varie , ou qu'il ne varie pas pendant l'expérience , se trouve toujours plus haut que l'autre , & suivant les proportions marquées dans les résultats ci-dessus.

Par le second & le troisième de ces résultats , on voit que chaque ligne d'abaissement du mercure dans le baromètre répond environ à 12 toises de hauteur perpendiculaire dans l'atmosphère : ce rapport nous donne l'air plus pesant que nous ne l'avons estimé dans la Leçon précédente ; car nous avons dit que sa densité ou pesanteur spécifique est à celle de l'eau , à-peu-près comme l'unité est à 900 : & comme le mercure pèse 14 fois autant que l'eau , il suit qu'une ligne de mercure équivaut à 14 fois 900 lignes d'air dont la somme 12600 fait

346 LEÇONS DE PHYSIQUE

**XI.
LEÇON.**

15 toises 4 pieds 6 pouces & 8 lignes, au lieu de 12 toises dont nous venons de faire mention dans les résultats précédens.

Mais il faut observer aussi , que de tous ceux qui se sont appliqués à cette recherche par des expériences soigneusement faites en différens temps , & en différens lieu , il en est bien peu qui s'accordent à conclure le même rapport. M. Cassini , après avoir porté le barometre sur la montagne de Notre-Dame de la Garde près de Toulon , évaluée à 10 toises & 5 pieds la hauteur de l'air qui soutient une ligne de mercure. M. de la Hire le pere la trouva de 12 toises , par des épreuves qu'il fit sur le Mont-Clairet , dans le voisinage de la même Ville ; ce même Académicien la jugea de 12 toises 4 pieds à Meudon , & de 12 toises 2 pieds 8 pouces à Paris. Selon les observations de M. Picart faites au Mont Saint Michel , une ligne de différence dans la hauteur du mercure au baromètre , répond à 14 toises 1 pied & 4 pouces d'air. Enfin

* Hist. de
l'Acad. des
Scienc. 1712
p. 3. & suiv.

M. Vallerius * , savant Suédois , qui répéta ces expériences dans son pays

après avoir observé les diverses hauteurs d'un baromètre qu'il descendit d'abord dans une mine très-profonde, & qu'il porta ensuite au sommet d'une montagne voisine, compta pour chaque ligne de mercure 10 toises 1 pied & 4 lignes de hauteur dans l'atmosphère. M. de la Hire* le fils attribue toutes ces différences à deux causes principales : 1°. à des couches de vapeurs, qui peuvent régner dans certaines parties de l'atmosphère, & qui en augmentent pour un temps la pesanteur; ce qui paroît très-vraisemblable : 2°. à la situation des lieux où l'on fait ces expériences, ou à la pesanteur actuelle plus ou moins grande de l'atmosphère; & en effet, on voit par le quatrième résultat que la portion d'une colonne d'air qui répond à une ligne de mercure, est d'autant plus grande ou plus petite, que cet air est plus ou moins dense; & la densité ou le poids d'un fluide compressible, croît à mesure qu'il est plus chargé, soit par sa propre matière amoncelée, soit par des parties étrangères qui s'y mêlent.

. On peut ajouter encore pour trois

XI.
LEÇON

* *Mém. de
l'Acad. des
Scienc.* 1712.
p. 114.

 XI.
LEÇON.

sième raison, (&c'est peut-être la plus forte ;) on peut, dis-je, ajouter qu'il est très-difficile d'estimer au juste chaque ligne d'abaissement du mercure dans le baromètre ; cependant les plus petites erreurs dans cette estimation sont d'une grande conséquence, lorsqu'il s'agit de juger avec exactitude de la hauteur d'une colonne d'air correspondante. Car puisque le mercure ne s'abaisse que d'une ligne pour un retranchement d'environ 12 toises fait à la colonne d'air, on peut aisément se tromper de quelques toises sur celle-ci ; il suffit pour cela qu'il y ait un mécompte d'un $\frac{1}{12}$ de ligne dans l'observation du baromètre. Ceux qui connoissent bien cet instrument, conviendront sans peine que l'observateur le plus attentif peut fort bien commettre de pareilles fautes, non-seulement à cause de quelque défaut de mobilité qui peut empêcher le mercure de se remettre dans un parfait équilibre avec l'atmosphère après ses balancemens, mais encore à cause de la convexité de sa surface & des petites réfractions occasionnées par l'épaisseur du verre, & qui peuvent tromper l'œil.

Puisque l'atmosphère est un fluide compressible, on ne peut pas supposer que sa densité soit uniforme ; on doit penser au contraire, que les couches supérieures , pesant sur celles qui sont au - dessous , resserrent & condensent de plus en plus leurs parties ; & conséquemment à ce principe , les différentes stations où l'on observe en montant , une ligne d'abaissement dans le mercure du baromètre , doivent se trouver toujours de plus en plus éloignées les unes des autres. C'est ce qu'on observe en effet : mais jusqu'à une hauteur de 1000 ou 1200 toises au-dessus du niveau de la mer , les différences sont peu considérables , apparemment parce que la grande quantité de vapeurs grossières dont l'air est chargé dans cette basse région , & le grand poids qui le presse , rendent sa densité presque uniforme. M^{rs}. Cassini & Maraldi , après un grand nombre d'expériences faites sur diverses montagnes dont ils avoient mesuré géométriquement les hauteurs , jugèrent que les portions retranchées d'une colonne de l'atmosphère pour plusieurs

XI.
LEÇON.

lignes d'abaissement du mercure au baromètre , croissent suivant cette progression , savoir , que si la première ligne de mercure répond à 61 pied d'air , il y en a pour la seconde 62 , pour la troisième 63 , & ainsi de suite. Mais ils ont pensé avec raison , que cette proportion ne continue point au-delà d'une demi-lieue au-dessus du niveau de la mer ; car alors , l'air étant plus pur , son ressort est plus libre , & ses différens degrés de densité ne dépendent presque plus que de la pression des couches supérieures & du degré de froid qui y regne.

APPLICATIONS.

Si l'on a pesé la colonne de mercure d'un baromètre dont le tuyau soit parfaitement cylindrique ; on fait aussitôt quel est le poids de la colonne totale de l'atmosphère qui la tient en équilibre ; & l'air du cercle qui fait sa base est un espace connu qu'on peut multiplier autant de fois qu'on voudra , pour savoir quelle est la pression de l'atmosphère , sur un espace donné à la surface de la terre ;

un exemple rendra ceci plus intelligible.

Supposons que le tube du baromètre ait deux lignes de diamètre intérieurement, & que le mercure qu'il contient pese une livre; cela m'apprend que dans le même lieu où est le baromètre, tout espace circulaire qui a deux lignes de diamètre, comme l'ouverture du tuyau, se trouve chargé d'une colonne d'air qui pese une livre; & cette pression se fait contre une porte de même que sur une table; parce que c'est ici le poids d'un fluide, qui agit dans toutes sortes de directions, comme nous l'avons enseigné en traitant de l'hydrostatique.

Supposons maintenant qu'on voulût savoir combien pese l'atmosphère sur une espace circulaire d'un diamètre trois fois plus grand que le précédent; ce dernier espace est 9 fois plus étendu que le premier: car les cercles sont entr'eux comme les carrés de leurs diamètres, & le carré de 3 est 9. Je dirai donc: Puisqu'une colonne de l'atmosphère, dont la base a deux lignes de diamètre, pese

XI.
LEÇON.

une livre ; une autre colonne qui s'appuie sur un espace 9 fois plus grand pèse 9 livres : & l'on pourra savoir ainsi quelle est la pression de l'atmosphère, sur tout espace dont on connoîtra l'étendue.

Quelques curieux, fondés sur ce principe, se sont proposé de chercher quel est le poids de toute l'atmosphère ; mais ce qu'ils ont pu savoir à cette égard, tient à des hypothèses dont les unes visiblement fausses, les autres très-incertaines, ont rendu leurs laborieux calculs presque inutiles. Et en effet quelle connoissance peut-on tirer d'un pareil travail, si l'on ignore quelle est au juste l'étendue de la surface de la terre ; si l'on néglige de tenir compte de la hauteur de ses inégalités ; si l'on considère l'atmosphère, comme un fluide d'une densité uniforme dans ses parties semblables ; si l'on n'a point égard aux effets de la force centrifuge qui résulte du mouvement de la terre sur son axe, &c ? On voit assez combien il seroit difficile de saisir avec justesse tous ces élémens ; mais cette question n'étant heureusement

sement que de pure curiosité, la solution qu'on pourroit se flatter d'en avoir, ne mérite pas la peine qu'elle exige.

On fera du baromètre une application plus heureuse & plus utile, si l'on s'en sert pour mesurer la hauteur des montagnes; car suivant les expériences qui furent faites par MM. Cassini, Maraldi, & Chafelles en Auvergne, en Languedoc, & en Roussillon *, il paroît que depuis le niveau de la mer jusqu'à une demi-lieue de hauteur, on peut compter environ 10 toises d'élévation pour chaque ligne d'abaissement du mercure, en ajoutant un pied à la première dizaine, 2 pieds à la seconde, 3 pieds à la troisième, & ainsi de suite.

* *Mém. de
l'Acad. des
Scienc. 1703.
p. 229. & s.*

On voit bien que pour mettre ce moyen en usage, il faut savoir à quelle hauteur se tient actuellement le mercure au bord de la mer pendant que l'on opere; & c'est ce que l'on peut savoir facilement par un baromètre de comparaison qu'on y laisse avec un Observateur attentif. Il n'est pas même besoin que ce baromètre & cet Observateur soient au

 XL
 LEÇON.

bord de la mer ; il suffit que l'observation se fasse dans un lieu dont on connoisse l'élévation au-dessus du niveau de la mer ; & c'est ce qu'il n'est point rare de trouver maintenant dans presque tous les Etats. La salle de l'Observatoire Royal de Paris , par exemple , où l'on fait perpétuellement les observations du baromètre , & dont on tient un état tous les ans , est de 45 toises au-dessus de la Méditerranée , & de 46 au-dessus du niveau de l'Océan ; & le mercure s'y tient toujours pour cette raison , environ 4 lignes plus bas qu'on ne l'observe au bord de ces deux mers.

Je suppose donc que l'on ait porté un baromètre au sommet d'une montagne dont la hauteur soit inconnue ; si l'on trouve le mercure 10 lignes au-dessous du terme où il seroit sur le bord de la mer , en comptant d'abord dix toises pour chaque ligne de mercure , on aura 100 toises , auxquelles ajoutant un pied pour la première dizaine , 2 pieds pour la seconde , 3 pieds pour la troisième , & ainsi de suite jusqu'à la dixième inclusivement , on aura encore 55 pieds

qui font neuf toises & un pied ; ainsi
 Pon conclura 109 toises & un pied ;
 pour la hauteur de la montagne au-
 dessus du niveau de la mer.

XI.
 LEÇON.

Il est vrai que cette méthode ne
 donne point des mesures précises ,
 & qu'en l'employant on ne peut gue-
 res compter que sur des à-peu-près :
^{ment}, parce que les expériences sur
 lesquelles elle est fondée , ayant va-
 rié dans leurs résultats , ne détermi-
 nent pas avec précision la hauteur
 qui répond à une ligne de mercure ;
 en second lieu , parce qu'il est très-
 difficile de juger avec tout l'exacti-
 tude qui seroit nécessaire , de com-
 bien le baromètre a baissé lorsqu'il
 est parvenu au plus haut de la mon-
 tagne ; & enfin , parce que pendant
 l'opération , il peut arriver quelque
 changement dans les parties de l'at-
 mosphere qui couvre le lieu où l'on
 opere. Mais combien y a t-il d'oc-
 casions où les mesures géométriques
 ne peuvent être employées , & où
 l'on peut se contenter de connoître
 ces hauteurs à 10 ou 12 toises près ?

Une des vûes que l'on pourroit
 avoir encore en faisant usage du ba-

 XI.
LEÇON.

romètre, ce seroit de connoître l'étendue de l'atmosphère, en déterminant la hauteur de cette colonne d'air qui soutient celle du mercure, & dont nous avons appris ci-dessus à mesurer le poids; il semble qu'on en pourroit aisément venir à bout, si l'air de l'atmosphère, comme de l'eau ou comme tout autre liqueur, étoit par-tout d'une densité uniforme; car en supposant qu'une ligne de mercure répondît toujours à 10 toises de cette colonne, elle devroit avoir autant de fois 10 toises que l'on compte de lignes dans 28 pouces, hauteur moyenne du baromètre au niveau de la mer. Or il y a 336 lignes dans 28 pouces, ce qui donneroit 3360 toises pour la hauteur totale de l'atmosphère: mais le fluide dont il s'agit est une matière compressible; & par cette raison, les parties semblables de cette colonne étant prises les unes au-dessus des autres, ne doivent pas peser également, ou (ce qui est la même chose,) toutes ces portions, pour être de même poids, doivent avoir des longueurs différentes; les plus basses seront plus courtes que celles qui sont au-dessus,

Cette difficulté cependant n'empêcheroit pas qu'on ne vînt à bout d'évaluer par cette méthode la hauteur de l'atmosphère, si l'on savoit au juste dans quelle progression l'air se raréfie, à mesure que sa masse diminue, & qu'il se trouve moins chargé par son propre poids : si l'on étoit certain, par exemple, que sa densité augmentât & diminuât comme les poids qui le compriment, & que cette règle établie par M. Mariotte pût être suivie à toutes sortes de hauteurs. Mais bien loin de pouvoir compter sur cette supposition, on sait, par un nombre suffisant d'observations & d'expériences, que l'air ne se raréfie & ne se comprime ainsi que dans une densité moyenne, & que dans les cas extrêmes il suit une autre progression que l'on ne connoît point assez, & qui, telle qu'elle puisse être, doit varier suivant certaines circonstances. Plus ou moins de chaleur ou de pureté dans une région où nos observations ne peuvent s'étendre, suffit pour causer des changemens assez considérables à la pesanteur de l'atmosphère, & à sa hauteur : on ne

358 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
LEÇON. peut, sans incertitude, juger de l'une par l'autre, (je veux dire, de la hauteur par le poids,) quand on ignore quel est l'état actuel de l'air dans toute son étendue.

Un corps à ressort que l'on a comprimé fortement avec un certain nombre de poids égaux, lorsqu'on vient à le décharger peu-à-peu, se déploie par des quantités qui vont toujours en augmentant, & qui suivent d'abord une progression assez régulière; mais sur la fin, lorsqu'on ôte les derniers poids, le développement ou l'extension du ressort se fait dans des rapports beaucoup plus considérables. Comme l'air est un fluide élastique, on doit présumer que dans les hautes régions, où il est bien moins chargé par son propre poids, que par-tout ailleurs où nous pouvons faire des épreuves, il s'étend aussi beaucoup davantage, ce qui doit donner à l'atmosphère une hauteur plus grande qu'elle n'auroit, si nous en devions juger par les quantités qui répondent ici bas à une ligne d'abaissement du mercure dans le baromètre.

D'ailleurs on doit faire attention,

qu'à une plus grande distance du centre de la terre, la pesanteur diminue; & la force centrifuge augmente: ces deux causes concourent encore à diminuer le poids de l'air, & à faciliter sa raréfaction dans la partie la plus élevée de l'atmosphère.

XI.
LEÇON.

De ces différentes considérations, & des expériences faites avec le baromètre il suit, que notre atmosphère ne peut pas avoir moins que 6 lieues d'étendue en hauteur; il suit aussi, (& c'est l'opinion commune) que cette même hauteur peut être de 15 ou 20 lieues: quelles différences! & combien nous sommes encore peu instruits sur cette question!

M. de la Hire touché de cette incertitude, & désirant une solution moins vague, se proposa de connaître la hauteur de l'atmosphère, en faisant usage d'une méthode indiquée par Kepler, mais qu'il perfectionna & sçut employer plus heureusement que cet Astronome, Ce qu'on appelle *crépuscule*, cette lumière qui commence le jour avant que le soleil soit levé, & qui le fait durer encore quelque temps après que cet astre est couché,

XI.
LEÇON. est un effet de la réflexion causée par l'atmosphère aux rayons qui , sans cela , passeroient au-dessus de cette partie de la terre que nous habitons , & ne l'éclaireroient point : cette lumière réfléchie qu'on apperçoit sensiblement dans le climat de Paris , lorsque le soleil n'est pas plus bas que 18 degrés au-dessous de l'horizon , commenceroit plus tard le matin , & finiroit plutôt le soir , si l'atmosphère avoit moins d'étendue , parce qu'alors les rayons de lumière pourroient partir d'un point plus élevé vers l'horizon , sans rencontrer cette masse fluide qui les renvoye vers la terre. Il y a donc un rapport nécessaire entre la durée des crépuscules & la hauteur de l'atmosphère ; & comme la première de ces deux choses est connue ou facile à connoître , dans toutes les positions de la sphere, on voit qu'elle peut généralement conduire à découvrir l'autre. En effet M. de la Hire & M. Halley , en maniant cette méthode avec une adresse & des précautions dont il faut lire le détail dans leurs propres ouvrages * , ont conclu avec assez de vraisemblance

* *Mém. de l'Acad. des Sciences.* 1713.
p. 54.

vraisemblable la hauteur de l'atmosphère de 15 ou 16 lieues; je dis avec assez de vraisemblance, & non avec certitude, parce que leur doctrine tient encore à quelques hypothèses, qui pourroient bien n'être pas précisément d'accord avec la nature.

Si l'on connoissoit bien la hauteur de l'atmosphère pour chaque climat, on sauroit quelle est la figure de toute sa masse; car une suite de colonnes, qui depuis l'équateur jusqu'aux pôles, seroient rangées dans un même plan, formeroient, par leurs extrémités, une courbe d'où résulteroit la solution du problème. Mais comme il reste des doutes sur la première de ces deux questions, la seconde demeure encore indécidée, au moins pour ceux qui ne veulent se rendre qu'à des raisons tout-à-fait évidentes.

Sur les observations de M. Richer à la Cayenne, & sur celles qui furent faites à-peu-près dans les mêmes temps avec le baromètre en différens climats, on conjectura que la hauteur de l'atmosphère augmentoit de plus en plus, depuis l'équateur jusqu'aux

XI.
Leçon.

pôles ; parce que le mercure se tient plus haut dans les pays septentrionaux que sous la ligne équinoxiale & aux environs. Suivant cette conjecture l'atmosphère formeroit donc , avec la terre qu'elle enveloppe , un sphéroïde allongé vers les pôles , & son épaisseur seroit moindre à l'équateur que par-tout ailleurs.

Mais sans donner atteinte aux observations du baromètre , qui ne se font point démenties depuis , & qui ont été même réitérées en dernier lieu avec toute l'exactitude possible , ne pourroit-on pas conjecturer tout autrement qu'on n'a fait touchant la figure extérieure de l'atmosphère ? en jugeant de ses hauteurs , par les différens degrés de pression , a-t-on pu négliger d'avoir égard à la force centrifuge qui résulte du mouvement de la terre sur son axe , & qui est commun sans doute à l'air qui l'environne ? Une pareille considération a fait conclure que les parties de notre globe , pour être en équilibre entr'elles , avoient dû s'arranger sous la forme d'un sphéroïde plus élevé à l'équateur qu'aux pôles , comme nous l'avons ex-

plaque ailleurs*. Ne peut-on pas dire la même chose, & avec plus de raison encore, d'un fluide plus disposé par sa nature à se prêter aux loix de la statique, & à celles des forces centrales? Il y a donc beaucoup d'apparence que l'air est plus haut entre les deux tropiques qu'il ne l'est par-tout ailleurs, parce que cette partie de l'atmosphère tourne avec plus de vitesse, & que la force centrifuge y agit plus fortement & plus directement contre la pesanteur.

On peut ajouter aussi, que sous la Zone torride, où il regne une chaleur plus grande & plus continuelle, au moins vers la surface de la terre, l'air doit y être plus raréfié, & que les colonnes par conséquent doivent augmenter en longueur, pour être en équilibre avec celles d'un autre climat. Si le mercure du baromètre s'y tient plus bas que dans le nord, on ne peut point douter que l'air n'y soit moins pesant; mais cette moindre pesanteur vient-elle de ce que les colonnes sont moins hautes, ou bien doit-on s'en prendre aux causes que je viens d'exposer? Le dernier parti

XI.
Léon.
Tome II.
page 151.

me paroît le plus vraisemblable.

XI.
LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

IL faut mêler de la glace pilée ou de la neige avec du sel dans un vase de verre ou de métal fort mince, qui soit bien essuyé en dehors, & que l'on tient environ un quart-d'heure dans un lieu frais.

EFFETS.

Tous les dehors du vaisseau se couvrent peu-à-peu d'une espece de frimas ou de gelée blanche assez semblable à celle qu'on voit le matin sur les toits & à la surface de la terre, vers la fin de l'automne ou au bord de l'hyver.

EXPLICATIONS.

Le mélange de glace & de sel refroidit considérablement les parois du vase qui le contiennent : ce refroidissement condense aussi-tôt l'air extérieur le plus prochain & les particules d'eau dont cet air est chargé, étant condensées aussi par la même

cause, s'appliquent & se gèlent contre le vase; à la premiere couche il s'en joint une autre, à celle-ci une troisieme, &c. ce qui fait que cette congélation extérieure s'épaissit plus ou moins; selon la durée & l'intensité du froid artificiel qui la cause.

XI.
Leçon.

Si l'on étoit tenté de croire que cet effet n'est qu'une transpiration de ce qui est dans le vase; on seroit bientôt désabusé de cette erreur en goûtant la glace extérieure; car on la trouveroit insipide & bien différente de ce qu'elle devroit être, si elle se formoit d'eau salée.

Pour dissiper entièrement ce préjugé, avant que de refroidir mon vase avec le mélange de sel & de glace, je le place dans un autre vase de verre, & j'empêche que l'air extérieur ne puisse entrer dans le peu d'intervalle qui se trouve entre lui & l'autre; & alors quel que soit le refroidissement, je n'apperçois aucune congélation autour du vase enfermé: celle qu'on y voit lorsqu'il ne l'est pas, ne peut donc être attribuée qu'à l'humidité de l'air extérieur.

III. EXPERIENCE.

XI.
Leçon.

PREPARATION.

La Fig. 1. représente un ballon de verre bien transparent, de 9 à 10 pouces de diamètre, qui n'a jamais été rempli d'aucune liqueur & qui est joint avec le plus grand récipient de la machine pneumatique par un canal garni d'un robinet, de sorte qu'on peut ouvrir & fermer la communication entre les deux vaisseaux : la clef du robinet est percée de façon que, quand le récipient & le ballon ne communiquent point ensemble, celui-ci communique avec l'air extérieur ; le canal étant donc fermé, on épuise l'air du récipient, & l'on ouvre ensuite la communication entre le ballon & lui.

E F F E T S.

Si le ballon est placé entre la lumière & l'œil du spectateur, on y aperçoit une vapeur légère, qui tournoie, & qui se précipite vers le bas du vaisseau ; s'il entre de nouvel air dans le ballon, & qu'on ouvre de

nouveau la communication , on voit aussi-tôt renaître la vapeur ; & cet effet arrive autant de fois qu'on ouvre le robinet , pourvu que l'air soit encore suffisamment raréfié dans le récipient.

EXPLICATIONS.

Toutes les fois qu'on ouvre une communication entre deux capacités , dont l'une est vuide d'air , l'autre en étant pleine , ce fluide s'étend & se partage à toutes les deux , suivant le rapport qu'elles ont entr'elles , comme on l'a dit en parlant des fonctions de la machine pneumatique ; c'est pourquoi , dans le ballon de l'expérience précédente , l'air se raréfie considérablement , dès que le vaisseau vient à communiquer avec le récipient que l'on a évacué. Mais comme les petits corps étrangers dont cette masse d'air est chargée ne sont pas de nature à s'étendre comme elle , ils demeurent isolés , ils sont abandonnés à leur propre poids , & au mouvement de l'air qui se porte de toutes parts vers le canal de communication , ce qui les fait tournoyer

en tombant en forme de vapeur.

XI.
Leçon.

Le même effet s'apperçoit toujours plus ou moins à tout récipient où l'on commence à faire le vuide ; & j'aurois pû me contenter de rappeler ce fait si familier à ceux qui font usage de la machine pneumatique , pour prouver que l'air est toujours mêlé de matieres étrangères ; mais on auroit pû m'objecter que cette vapeur qui fait ici le fond de ma preuve , n'est dûe qu'à l'humidité du cuir mouillé qui couvre la platine, & sur lequel on applique le vaisseau : je dissipe ce soupçon quand je la fais voir dans un ballon bien net , & dans lequel il n'entre autre chose que l'air qui vient immédiatement de l'atmosphère : quiconque ne voudra pas se rendre à cette raison, en trouvera beaucoup d'autres encore dans un écrit * où j'ai traité exprès de cette matiere.

* *Mém. de
l'Acad. des
Scienc. 1740.
page 243.*

On pourroit demander pourquoi les corpuscules qui forment la vapeur dont il s'agit , n'étant point visibles dans l'air de l'atmosphère, le deviennent aussi-tôt que ce fluide vient à se raréfier.

Il y a toute apparence que ces par-

faits corps, dès qu'ils cessent d'être soutenus, retombent les uns sur les autres, & s'unissent pour former des masses plus grossières, & par conséquent plus propres à être apperçues.

D'ailleurs c'est un fait que nous examinerons en traitant de l'optique, que la transparence des corps diminue, à mesure que leurs parties deviennent plus denses les unes que les autres : or quand cette masse fluide qui remplit le ballon vient à se raréfier, il n'y a que la densité de l'air proprement dit, qui diminue; celle des autres matieres qui s'y trouvent mêlées, augmente au contraire, & ce double effet occasionne sans doute cette petite opacité qu'on apperçoit; & qui ne manque pas de disparoitre aussi-tôt qu'une raréfaction suffisante a donné lieu à l'air de se purifier, en se désaisissant entièrement de ce qu'il avoit d'étranger.

APPLICATIONS.

ON distingue communément en deux classes toutes les matieres qui s'élèvent de la surface de la terre dans l'atmosphère; l'une comprend sous

XI.
Leçon.

le nom de *Vapeurs* tout ce qui tient de la nature de l'eau; dans l'autre on range toutes les parties salines, sulfureuses, grasses & spiritueuses, & c'est ce qu'on appelle *Exhalaisons*.

Toutes ces substances, tant celles qui s'exhalent, que celles qui s'évaporent, étant différemment mélangées ou modifiées, prennent des formes & produisent des effets qui varient beaucoup, & que l'on connoît sous le nom de *Météores*. On en peut distinguer de trois sortes; savoir, ceux qui sont produits par les vapeurs seules & que l'on appelle *météores aqueux*, comme le brouillard, les nuages, la pluie, la grêle, le frimas, &c. ceux que sont naitre des exhalaisons qui s'allument, & que l'on nomme *météores enflammés*; tels sont le tonnerre, les éclairs, les feux follets, &c. & ceux qui résultent des vapeurs & des exhalaisons combinées avec la lumière, & qu'on peut appeller *météores lumineux*, comme l'arc-en-ciel, les parhélies &c.

Pour ne point faire une trop longue digression, je me contenterai de par-

pourir ici les météores de la première espèce; & je remettrai à parler des autres dans les Leçons où je traiterai du feu, & de la lumière.

XI.
LEÇON.

Pendant le jour, les rayons du soleil échauffent en même temps & la terre & l'air qui l'environne. Lorsque cet astre est couché, la chaleur qu'il a fait naître se ralentit peu-à-peu; mais elle se conserve plus long-temps dans les corps qui ont plus de matière, de sorte que pendant la nuit, la terre & les eaux sont communément plus chaudes que l'air de l'atmosphère. Alors la matière du feu, qui tend à se répandre toujours uniformément à la manière des autres fluides, passe de la terre dans l'air, & emporte avec elle les parties les plus subtiles des corps terrestres, qu'elle détache & qu'elle anime par son mouvement. Cette cause particulière se joignant à celles dont nous avons fait mention* en parlant de l'élevation des vapeurs en général, fait que la partie de l'atmosphère la plus voisine de la terre reçoit une plus grande quantité de ces parties évaporées : de-là vient cette humidité qu'on apperçoit sensible-

* Tome I 24
110. & suiv.

XI.
LEÇON.

ment sur les habits, lorsqu'on se promène à la campagne pendant les soirées fraîches du printemps & de l'automne, & que l'on *l'homme le seréin*. Ces sortes de vapeurs s'attachent plus promptement & en plus grande quantité aux taffetas & aux toiles fines qu'aux grosses étoffes, parce que celles-ci prenant plus lentement que les autres la température de l'air qui se refroidit, le feu qui continue de s'en exhâler emporté avec lui les particules d'eau qui se présentent à leur surface.

Le seréin dure toute la nuit, dans les saisons & dans les climats où la terre s'échauffe suffisamment pendant le jour. Au soleil levant, la chaleur commence à renaître dans l'atmosphère, & l'air, en se dilatant, se dé-fait pour l'ordinaire de ces vapeurs, trop subtiles pour être pour remplir les pores, ou bien elles suivent la matière du feu à laquelle elles sont encore unies, & qui retourne alors vers la terre. Les vapeurs qui retombent ainsi, s'appellent *rosées*; elles sont plus abondantes aux champs qu'à la ville, & dans les campagnes couvertes

EXPERIMENTALE. 373
tes d'arbres & de plantes que dans les
lieux arides; car il en tombe à pro-
portion de ce qu'il s'en est élevé.

XI.
LEÇON.

Il ne faut pas confondre cependant
cette rosée qui tombe de l'air, avec
celle qu'on remarque le matin sur les
plantes. Ces gouttes qu'on voit à
leurs tiges & sur leurs feuilles, sont
des effets de la transpiration; & l'on
peut aisément s'en convaincre, si l'on
couvre un choux ou un pied de lai-
que pendant la nuit; car on y verra le
matin la même rosée qu'on a coutu-
me d'y voir lorsque ces plantes de-
meurent découvertes. Les particules
d'eau qui forment ces gouttes vien-
nent de la terre comme les autres, &
sont élevées par la même cause; mais
au lieu d'en sortir immédiatement
comme par-tout ailleurs, elles enfi-
lent des tiges, des branches, des feuil-
les, leur mouvement se ralentit, &
elles demeurent plusieurs ensemble à
l'orifice des petits canaux par lesquels
elles transpirent.

Les Empiriques & les Alchimistes
ont attribué de grandes vertus à la
rosée; mais il paroît que toutes les
merveilles qu'ils en ont annoncées,

374 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
Leçon.

n'ont pas plus de réalité qu'une infinité de chimères dont ils ont coutume de repaître leur imagination, & l'écridulité des ignorans.

Plusieurs Auteurs ont dit avec plus de fondement & de vraisemblance, que la rosée peut nuire aux animaux que l'on mène paître trop matin, & qu'elle peut diminuer la fécondité des terres lorsqu'elle est trop abondante : car quoique cette vapeur ne soit pour la plus grande partie que de l'eau, on ne peut nier qu'elle n'emporte avec elle d'autres substances qui varient, soit pour la quantité, soit pour la qualité, selon les lieux, selon les degrés de chaleur, & selon les planètes d'où elle transpire. Ce qui prouve bien que la rosée n'est pas de l'eau pure, c'est qu'elle se corrompt, & qu'elle dépose lorsqu'on la garde dans des bouteilles. On peut attribuer aussi à la rosée, ou au ferein qui tombe, ces couches légères de matieres grasses & sulfureuses qui se font remarquer par leurs couleurs d'Iris à la surface des eaux dormantes après plusieurs jours d'un temps ferein, pendant lequel on ne voit tomber du ciel rien

autre chose qui puisse causer cet effet.

Il y a même des cas où la partie aqueuse de la rosée n'est pas la plus abondante : alors ce qui exsude de la plante ou de l'arbre , est un suc qui s'épaissit à mesure que l'humidité s'évapore ; telles sont certaines gommes & quelques especes de mannes dont la médecine fait usage,

XI.
LEÇON.

Or puisque la rosée est une vapeur qui contient un extrait des matieres minérales ou végétales d'où elle sort, il n'est point douteux qu'elle ne puisse avoir des qualités bonnes ou mauvaises , selon la nature des principes dont elle est chargée. Mais comme en différens lieux il naît différentes plantes, que la nature y varie de même ses autres productions , & que la chaleur qui anime les exhalaisons n'est ni toujours ni par-tout également forte , on doit présumer que la rosée & le serein changent de qualités suivant les temps & les lieux , & que les effets dont l'une ou l'autre seroit capable en telle saison ou en tel climat , n'auroit pas lieu ailleurs , ou dans un autre temps. A Rome , & dans ses environs , par exemple , il

 XI.
 LEÇON.

est dangereux, dit-on, de prendre l'air le soir; à Paris, on le peut faire impunément: c'est qu'ici le serain n'est presque autre chose qu'un peu d'humidité, au lieu qu'en Italie cette vapeur est chargée apparemment d'exhalaisons nuisibles, qui tiennent de la nature du terrain, & dont la quantité répond au grand chaud du climat; ainsi l'on ne peut gueres prononcer en général sur cette matiere.

Vers la fin de l'automne, quand les nuits commencent à être longues, la terre a plus de temps pour se refroidir, & très-souvent sa surface & les corps qui y sont isolés sont assez froids, pour glacer les particules d'eau dont la rosée tombante a coutume de les couvrir; alors au lieu d'humidité on aperçoit sur le gazon, sur les toits des bâtimens, &c. une couche de petits glaçons fort menus que l'on nomme *Gelée blanche*, à cause de sa couleur, & qui ne manque pas de se fondre & de se dissiper dès que le soleil commence à faire sentir sa chaleur.

La rosée, ou la gelée blanche qui a été fondue, se dissipe de deux manieres; elle rentre dans les terres arides

Ces & dans les corps poreux qui ont plus de disposition à l'absorber que l'air de l'atmosphère; mais le plus souvent elle s'élève de nouveau, soit qu'une médiocre raréfaction mette l'atmosphère en état de la pomper, soit qu'un vent fort doux y transporte un air plus sec que celui sous lequel elle étoit.)

XXI.
Léçon

Assez souvent, quand la rosée remonte, elle diminue la transparence de l'atmosphère, parce qu'alors les parties de cette vapeur sont beaucoup plus grossières, & qu'elles s'élèvent plus lentement. Ces deux causes qui naissent l'une de l'autre, doivent nécessairement rendre l'air opaque; 1^{re}, parce qu'un corps transparent l'est d'autant moins que ses parties diffèrent davantage par leur densité, (comme nous le prouverons par la suite); 2^{re}, parce que la vapeur qui monte lentement, s'étend moins & devient plus dense.

Mais cette opacité que fait naître la rosée qui remonte, ne s'empare presque jamais d'une grande portion de l'atmosphère; elle se cantonne, pour ainsi dire, & devient plus forte

378 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
Leçon.

dans les lieux bas & humides, & au-
dessus des prairies, que par tout ail-
leurs, parce que, comme nous l'a-
vons déjà dit, la rosée retombe à
proportion de ce qu'il s'en élève; &
si le temps est calme, elle doit être plus
abondante le matin, aux endroits qui
en fournissent une plus grande quan-
tité pendant la nuit. C'est par cette
raison sans doute, qu'on ne voit que-
sser au-dessus des Vallées & des lieux
arides, l'atmosphère obscurcie par la
rosée qui remonte, mais bien plus
souvent au voisinage des rivières,
des étangs & des herbages.

Un préjugé généralement reçu &
fondé sur les apparences, avoit éta-
bli, touchant la rosée & le seroin, des
idées bien fausses qui ont été dissipées
dans ces derniers temps par MM.
Gersten, Muschienbroek & Dufay.
Le Lecteur qui ne voudra rien ignorer
de ce que l'on fait sur cette matière,

* Christ.
Lud. Gersten.
tentam Fran-
cos. 1733.

* Essais de
Phys. p. 753.

* Mém. de
l'Académie
des Sciences;
1736. p. 1352.

doit parcourir leurs écrits, * où il
trouvera un grand nombre d'expé-
riences ingénieuses & d'observations
aussi curieuses que nouvelles. De
tous les faits qui y sont rapportés,
celui qui surprend davantage, c'est

que le fercin ou la rosée semble éviter certains corps , tandis qu'ils s'attachent facilement aux autres : le verre, la porcelaine, & quantité d'autres matieres se mouillent considérablement, tandis que des morceaux de métal poli, de quelque étendue qu'ils soient, exposés au même lieu, demeurent constamment secs ; & cette espee de préférence est si marquée, qu'un écu placé au milieu d'un grand plat de fayance, ou de verre, ne reçoit pas la moindre humidité, quoique le reste du vaisseau soit tout mouillé.

XI.
LXIX.

Une certaine disposition de l'atmosphère, & un concours de circonstances qu'il seroit fort difficile de marquer avec précision, déterminent quelquefois une grande quantité de vapeurs grossieres à s'élever à-peu-près comme la rosée qui remonte : alors ces vapeurs qui s'élèvent à peine, s'étendent uniformément dans la partie basse de l'atmosphère, & la rendent opaque, tout le temps qu'elles y demeurent suspendues.

Toutes ces vapeurs flottantes & basses, tant celles qui viennent de la

XI.
Leçon.

rosée du matin, que celles qui naissent dans d'autre temps, & d'une manière différente, se nomment *Brouillards*. Ce n'est ordinairement que de l'eau; mais quelquefois il s'y mêle des exhalaïsons qui se manifestent par leur mauvaise odeur, par une certaine âcreté qui prend aux yeux, & par le dommage qu'elles causent aux fruits & aux grains. Il regne en certaines années des brouillards auxquels on attribue la *nielle* & la *rouille*, maladies assez communes au froment & au seigle: (a) quelques sçavans ont rejeté sur ces mêmes causes, ce qu'on remarque à certains épis dont le grain devient noir & s'allonge en forme de corne, & que les Laboureurs appellent *Ergot* ou *Bled cornu*; la farine en est pernicieuse; on lui attribue une maladie qui régne quelquefois dans les campagnes, & qui est con-

(a) Voyez ce qu'ont écrit sur ce sujet MM. Duhamel du Monceau, & Tillet; le premier dans son ouvrage intitulé: *Traité de la culture des terres*, tom. II. p. 158 & suiv. Ibid. tom. IV. page 175, 263 & suiv. Le dernier dans la Dissertation sur la cause qui corrompt & noircit les grains de bleds dans les épis &c. imprimée à Bordeaux en 1755. in-4°. pag. 41. & suiv.

nue sous le nom de *Feu Saint Antoine* ; on prétend aussi qu'elle donne la gangrene*.

En hyver les brouillards sont plus fréquens qu'en été, parce que le froid qui regne dans l'air, condense promptement les vapeurs, & ne leur donne pas le temps de s'élever beaucoup ; si le froid augmente, le brouillard se gèle & s'attache aux branches des arbres, aux plantes seches, aux cheveux des voyageurs, aux crins des chevaux, & généralement à tout ce qui s'y trouve exposé ; c'est ce qu'on appelle *Givre* ou *Frimas*.

Quand les brouillards ou les vapeurs qui sont propres à les former, peuvent s'élever assez haut, il s'en fait des amas qui flottent au gré des vents dans l'atmosphère ; ce sont ces *nuées* que nous voyons suspendues de côtés & d'autres au-dessus de nous, & qui nous cachent de temps en temps le soleil & les autres astres par leur opacité ; leurs figures & leurs grandeurs varient à l'infini, selon la quantité des vapeurs qui les forment, & selon la manière dont elles s'arrangent en s'unissant, ce qui dépend

XI.
Laconi
* Hist. de
l'Ac. des Sc.
1710. p. 61.
Jour. des Sc.
Mars 1676.

~~beaucoup de la direction & des diffé-~~
 XI. rérens degrés de vitesse que les vents
 Leçon. leur donnent.

Les nuées ne sont pas toutes également élevées , parce que , comme il faut qu'elles soient toujours en équilibre avec l'air dans lequel elles flottent , & que ce fluide est plus rare à une plus grande distance de la terre , les vapeurs les plus subtilisées peuvent se soutenir où les plus grossières se trouveroient trop pesantes ; c'est pourquoi ces nuages épais qui sont prêts à fondre en pluie sont ordinairement fort bas. Ceux qui voyagent sur les hautes montagnes , comme celles des Alpes ou des Pyrénées , passent souvent au travers des nuages qui dérobent la terre à leurs yeux , après leur avoir caché le ciel , les moins attentifs ne manquent point d'observer qu'à ces hauteurs la terre est toujours fort humectée par les nuages qui viennent s'y briser , ce qui contribue beaucoup à entretenir ces torrens & ces sources qu'on voit si fréquemment au pied & aux environs de ces mêmes montagnes. Ainsi dans le temps même qu'il ne pleut

point, les nuées font autant de voies d'eau que les vents distribuent en différentes contrées, & qui vont s'épuiser contre les montagnes, d'où elles se répandent ensuite dans les plaines par les canaux souterrains que la nature y a pratiqués. Mais les nuées ne s'épuisent pas toujours de cette manière; le plus souvent elles s'épaississent, soit par l'action des vents qui les poussent les unes contre les autres, soit par la condensation de l'air qui les porte; & alors leurs parties réunies en gouttes deviennent trop pesantes, & font, en tombant, ce qu'on nomme *la Pluie*.

Lorsque cette condensation se fait lentement, ou que les vapeurs tombent seulement parce que l'air qui les soutient se raréfie, comme il arrive quelquefois après un brouillard du matin, les gouttes demeurent très-petites; la pluie qu'elles forment est très-fine, & se nomme communément *Bruine*. Au contraire, quand les vapeurs se condensent précipitamment, & dans une partie peu élevée de l'atmosphère, où l'air a plus de densité, les gouttes acquièrent plus de gros-

leur, & elles demeurent plus écartées les unes des autres, comme on l'observe presque toujours dans les pluies d'orage.

Les refroidissemens qui se font dans la région des nuâges, non-seulement condensent les vapeurs & les convertissent en pluies; il arrive souvent que le froid est assez considérable pour les geler: elles tombent alors ou en neige ou en grêle; en neige si la congélation saisit les vapeurs avant qu'elles se soient réunies en grosses gouttes; car ces glaçons infiniment petits s'unissant mal entr'eux, ne peuvent composer que des flocons fort légers: en grêle, si les particules d'eau ont le temps de se joindre avant que d'être prises par la gelée.

La grêle ne devroit jamais être naturellement plus grosse que des gouttes de pluie; si l'on en voit quelquefois tomber qui égale en grosseur une noix ou un œuf, c'est que plusieurs grains s'unissent ensemble en tombant; ou bien lorsqu'ils ont reçu un degré de froid suffisant, ils gèlent toutes les particules d'eau qu'ils touchent dans leur chute; & ils deviennent

neut comme les noyaux de plusieurs couches de glace qui augmentent beaucoup leur volume & leur poids. C'est pour cela que la grosse grêle est toujours fort anguleuse, & que les grains qui sont arrondis ne sont jamais d'une densité uniforme, depuis la surface jusqu'au centre.

XI.
LEÇON.

On a vû, quoiqu'assez rarement, tomber en forme de pluie ou de grêle, des matieres qui n'étoient point de l'eau. En 1695, il tomba en Irlande une pluie grasse & visqueuse qui demeura 14 ou 15 jours dans les endroits où elle s'étoit amassée, & qui devint noire en se séchant. Dans les mémoires de Breslaw *, il est fait mention d'une pluie de soufre qui mit l'allarme dans la ville de Brunswick. Les habitans de Copenhague, en 1649, ramasserent aussi du soufre dans les rues après une grosse pluie qui en avoit fortement l'odeur. Scheuchzer observa, en 1677, une poudre jaune qui tomba abondamment, & qu'on auroit volontiers prise pour du soufre; mais en l'examinant avec attention, il se déterminâ à croire que cette matiere venoit de la

* Octobre
1721.

XI.
LÉÇON.

fleur des jeunes pins , qui sont fort communs dans les environs du lac de Zurich, où il fit cette observation. On a vû des pluies de sable à une distance assez considérable de la mer ; c'étoit sans doute un effet du vent ou de la tempête, comme les pluies de cendres & de pierres , si l'on peut les nommer ainsi , sont causées par les éruptions des volcans.

Au reste, quand il arrive de ces fortes de phénomènes, on doit , avant que de prononcer, les examiner avec beaucoup de circonspection, & ne point céder précipitamment aux premières apparences; car ordinairement l'attention d'un observateur intelligent dissipe une fausse merveille, & dévoile une vérité obscurcie par les circonstances. Si l'on jugeoit, par exemple, sans autre examen, que tout ce qu'on apperçoit de nouveau sur la terre, après ou pendant la pluie, vient, comme les gouttes d'eau, de la nuée ou de l'atmosphère, on croiroit, comme le vulgaire, qu'il pleut quelquefois des crapauds, du sang, du grain, &c. Mais quand on fait que sous les animaux, jusqu'aux reptiles &

aux insectes, ont une génération réglée, & qui se fait toujours par les mêmes voies dans chaque espèce; que le crapaud, à-peu-près comme la grenouille, vient d'un frai trop gros & trop pesant pour s'élever comme les vapeurs; & que la femelle qui le fait, & le mâle qui la féconde, ne peuvent se soutenir en l'air; on trouve qu'il est plus raisonnable de penser, que tous ces petits animaux nouvellement éclos, & cachés sous des herbes ou ailleurs, sont déterminés par la pluie à sortir de leurs retraites, que de croire qu'ils viennent de naître fortuitement, & qu'ils ont pû tomber contre la terre la plus dure & la plus battue, sans s'écraser.

Des taches rouges, dont les murailles & les couvertures des maisons se sont trouvées teintes en différens temps, ont fait croire au peuple ignorant & préoccupé par la crainte, qu'il avoit plu du sang; les Historiens * même n'ont pas manqué de transmettre à la postérité ces phénomènes effrayans, & de les joindre à des événemens contemporains, jusqu'à ce qu'enfin quelques Sçavans *

XL
LEÇON.

* Plutarque,
Dion, Tite-
Live, Pline,
&c.

* Peiresc.
M^{or} ec.

 XI.
 LEÇON.

plus attentifs remarquerent que la prétendue pluie de sang avoit marqué des endroits couverts , comme le dessous des entablemens des portes & des fenêtres , & qu'immédiatement après , l'air se trouvoit rempli d'une multitude innombrable d'insectes d'une même espece.

La premiere de ces deux observations prouve d'abord & sans réplique que les taches rouges n'étoient point les vestiges d'une pluie qui fût tombée d'en-haut. La seconde fit connoître avec le temps quelle étoit leur véritable origine : voici comment on expliqua le fait après un peu de réflexion.

Quand un papillon sort de sa chrysalide , il dépose toujours deux ou trois gouttes d'une sérosité rouge qui ressemble assez à du sang ; or il y a telle circonstance de temps , où il en naît un nombre prodigieux ; car cette espece d'insectes , comme la plupart des autres , est extrêmement féconde , & si tous les œufs venoient à bien , nous en serions fort incommodés : on se souvient encore du dommage que causa une seule espece

de chenille aux environs de Paris , pendant l'été de 1735 ; il ne resta point de légumes dans les marais , & jusqu'au gramen , tout fut rongé dans les jardins & dans les champs. Lors donc qu'un pareil nombre de chenilles devenues chrysalides se changent en papillons , combien ne doit-on pas voir de taches rouges , quand c'est une espèce qui s'attache aux murs & aux bâtimens ; car il y en a beaucoup qui se mettent en terre , ou qui se branchent aux tiges des plantes , & alors on n'apperçoit presque point les traces de leur métamorphose.

Les pluies de grains n'ont pas plus de réalité que celles de sang. Il est vrai qu'on a vû quelquefois après une grosse pluie , la terre couverte d'une grande quantité de menus grains qui ont une sorte de ressemblance avec le froment : les paysans qui les ont ramassés , & qui ont essayé d'en faire du pain , n'ont pas manqué de croire qu'il étoit tombé du ciel ; & suivant la maniere de penser du peuple , ils en ont tiré des conjectures sur la disette ou sur l'abondance ; mais des

XI.
LEÇON.

 XI.
LEÇON.

personnes plus éclairées , & moins susceptibles de préjugés , ont reconnu que ces grains étoient des petites bulbes , qui se forment en grande quantité aux racines d'une espèce de renoncule qu'on nomme la *petite chelidoine* , & alors tout le merveilleux disparoit : car on sait que les racines de cette plante sont très-déliées , & à fleur de terre ; ce sont de petits filets rampans , qui se desséchent , & qui disparoissent ; & leurs bulbes qui ont plus de consistance , demeurent isolées , & ressemblent un peu à des grains répandus sur la terre.

Comme les nuées sont des amas de vapeurs , il s'en fait plus que par-tout ailleurs au-dessus des mers & des grands lacs , où l'évaporation est plus abondante. C'est pourquoi , toutes choses égales d'ailleurs , les pluies sont plus fréquentes dans le voisinage des côtes , que dans le milieu des continens ou des grandes îles. En Hollande , par exemple , il y pleut communément davantage qu'aux environs de Paris ; & quand le vent est au Sud ou à l'Ouest , nous avons ordinairement un temps pluvieux à cau-

se de la Méditerranée & de l'Océan ,
dont nous ne sommes point fort
éloignés.

XI.
LEÇON.

On mesure continuellement à l'Ob-
servatoire Royal, la quantité de pluie
qui tombe pendant le cours de l'an-
née , comme on fait depuis long-
temps en Angleterre, en Italie , en
Hollande , & dans plusieurs villes
d'Allemagne. Ces sortes d'observa-
tions se font par le moyen d'un vase
quarré ou cylindrique , gradué par
dedans selon sa hauteur , que l'on ex-
pose dans un lieu découvert , mais
cependant à l'abri du vent. Chaque
fois qu'il pleut , on marque sur un
journal de combien de lignes l'eau
s'est élevée dans le vaisseau ; & au
bout de l'année , en additionnant
toutes ces quantités , on voit quelle
est la somme totale de la pluie qui a
tombé pendant les douze mois. En
procédant ainsi, on a appris que dans
les années moyennes il tombe à Paris
environ 19 pouces d'eau ; à Londres
37 pouces $\frac{1}{2}$ mesure d'Angleterre, ce
qui fait environ 35 pouces de France ;
à Rome 20 pouces ; à Zurich en Suisse
32 pouces ; à Utrecht 24 pouces *.

* Environ
23 pouces me-
sure de Fran-
ce.

XI. **LEÇON.** La pluie purifie l'atmosphère, en précipitant avec elle toutes les exhalaisons qui s'y amassent pendant la sécheresse, & dont la trop grande quantité corromproit l'air, & causeroit des maladies épidémiques. On s'apperçoit sensiblement de cet effet, non seulement parce qu'on respire plus à son aise, mais encore parce que l'air devient plus transparent; les objets s'apperçoivent plus distinctement & de plus loin, & jamais les lunettes à longue vûe ne font aussi-bien qu'après une grosse pluie, & par un temps calme.

Un autre effet de la pluie, & qui nous est encore très-avantageux, c'est de rafraîchir l'air, & de modérer la chaleur, qui nous incommode souvent dans certaines saisons. On en reconnoît bientôt la cause quand on fait que la région des nuages est presque toujours beaucoup plus froide, que cette partie de l'atmosphère où nous sommes. C'est un fait que ne peuvent ignorer ceux qui ont vû la cime des montagnes couverte de neige, lorsqu'il fait encore assez chaud dans les lieux bas. Ainsi, quand il

pleut en été, c'est de l'eau froide qui se filtre au travers d'un air plus chaud qu'elle; celui-ci perd nécessairement une partie de sa chaleur.

Mais de tous les bons effets de la pluie, il n'en est pas dont nous ayons plus de besoin, & qui tourne plus directement à notre avantage que la part qu'elle a à la fertilité de la terre: quand elle manque trop long-temps, & que rien n'y supplée, tout devient aride dans les champs, & leur culture demeure sans succès; mais lorsqu'elle les arrose modérément, elle amollit la terre, elle entretient la souplesse des plantes, elle développe les germes, elle réunit les principes de la sève, & lui sert de véhicule pour l'introduire dans les racines, & pour la distribuer à la tige & aux branches.

Comme les vapeurs qui doivent retomber en pluie, élèvent avec elles ou rencontrent dans l'atmosphère, les parties les plus subtiles de toutes ces substances que la nature fait entrer dans la composition des mixtes, les sels, les soufres, les huiles, &c. les nuages agités par les vents, transportent tous ces principes d'un lieu dans

un autre, & les distribuent de manière qu'ils ne tarissent jamais. C'est donc pour leur donner le temps de se rassembler, qu'on laisse reposer les terres épuisées, ou qu'on y varie les semences : car une plante peut souvent se passer, de ce qu'une autre tire de la terre.

Les pluies peuvent avoir aussi de mauvais effets, comme elles en ont de bons : lorsqu'elles sont froides ou trop fréquentes, lorsqu'elles tombent hors de saison, elles retardent les progrès de la végétation, & la maturité des fruits ; elles pourrissent les moissons & font germer le grain sur les champs ; elles font périr le gibier ; elles gâtent les chemins ; elles rendent impraticable la navigation des rivières, par les débordemens & les inondations qu'elles causent ; & tous ces fâcheux effets incommode le commerce & occasionnent la disette.

On voit assez souvent sur mer, & beaucoup plus rarement sur terre, un phénomène surprenant & très-dangereux, qu'on appelle *Trombe* : c'est une nuée épaisse, qui s'allonge de haut en bas, en forme de colonne cylindrique

ou de cône renversé; elle jette autour d'elle beaucoup de pluie ou de grêle, & fait entendre un bruit semblable à celui d'une mer fortement agitée; elle renverse les arbres & les maisons par-tout où elle passe, & lorsqu'elle s'abat sur un vaisseau; elle ne manque gueres de le submerger. Les gens de mer qui connoissent ce danger, s'en éloignent le plus qu'ils peuvent; & quand ils ne peuvent éviter d'en approcher, ils tachent de la rompre à coups de canon, avant que d'être dessous pour prévenir l'inondation dont ils sont menacés. Peu d'observateurs ont eu le loisir d'examiner de près ces sortes d'accidens; & par cette raison, l'on n'est pas encore bien instruit de la maniere dont ils naissent. On croit *, avec assez de vraisemblance que la nuée déterminée à tourner par la double impulsion de deux vents contraires, & dont les directions sont paralleles, prend la forme d'un tourbillon d'eaux, qui s'allonge & s'élargit plus ou moins, suivant la vitesse avec laquelle il tourne, & suivant l'étendue en hauteur des vents qui l'agitent.

XI.
LEÇON.

* Hist. de
l'Acad. des
Sc. 1717.
P. 5.

 XI.
LEÇON.

J'aurois encore bien des choses à dire touchant les météores aqueux ; mais je passerois les bornes que je me suis prescrites dans un ouvrage , où je me suis moins proposé de donner une histoire complète des effets naturels, que d'exposer les causes de ceux qui sont les plus connus & les plus intéressans : le lecteur qui désirera d'en savoir davantage pourra consulter les Auteurs * qui ont écrit sur cette matière *ex professo* , & les Mém. des principales Académies , où l'on trouve un recueil d'Observations Météorologiques pour chaque année.

* Stanhusius,
Refta, Decha-
les, Gefen,
Musch, &c.

ARTICLE. II.

*De l'Atmosphere considérée comme
un Fluide en mouvement.*

On observe principalement deux sortes de mouvemens dans l'air de l'atmosphere, l'un est une espece de frémissent imprimé aux parties de ce fluide. & qui les agite quelques instans , sans les déplacer ; (a) l'au-

(a) On pourroit dire contre cette définition que le bruit du canon casse les vitres d'un appartement voisin, ce qui ne peut se faire sans

tre est un déplacement successif qui se fait d'un grand volume d'air , avec une vitesse sensible & une direction déterminée. Le premier de ces deux mouvemens s'appelle *son* ; le dernier est ce qu'on nomme le *vent*.

Du Son en général.

Le son naît communément du choc ou de la collision de deux corps , dont les parties ébranlées font frémir comme elles , & de toutes parts jusqu'à une certaine distance , le fluide qui les environne ; & ce frémissement se communique aux autres corps qui en sont susceptibles , & qui se rencontrent dans cette sphere d'activité ; de sorte que la même cloche que l'on fait sonner , peut se faire entendre à un nombre infini de personnes placées aux environs. On peut donc considé-

un déplacement sensible de la masse d'air qui les touche , & qui les enfonce ; mais on verra aisément par tout ce qui sera exposé dans cet article que cette commotion violente de l'air peut bien quelquefois accompagner le son ou le bruit , mais qu'elle ne lui est point essentielle , & qu'elle ne se rencontre pas dans les cas les plus ordinaires.

XI.
LEÇON.

rer le son , 1^o , dans le corps sonore ;
2^o . dans le milieu qui le transmet , 3^o .
dans l'organe qui en reçoit l'impres-
sion. On pourroit encore tenter de le
suivre jusques dans l'ame qui en per-
çoit l'idée ; mais c'est une entreprise
qui appartient à la Métaphysique , &
qui n'est point de mon ressort : j'en
userai pour l'ouïe , comme j'ai fait
pour les autres sens ; je me contente-
rai de conduire l'objet jusqu'à la par-
tie de l'organe , où s'accomplit la
sensation , & je me dispenserai d'exa-
miner comment naissent les idées , à
l'occasion de l'objet sensible.

Des Corps Sonores.

On appelle *Corps Sonores* propre-
ment dits , ceux dont les sons , après
le choc ou le frottement qui les fait
naître , sont distincts , comparables
entr'eux , & de quelque durée. Car
on ne doit pas nommer ainsi ceux
dont la chute ou l'ébranlement ne
fait entendre qu'un bruit confus ou
subit , tels qu'un tombereau que l'on
décharge , le murmure d'une eau cou-
rante , ou le mugissement des flots

EXPERIMENTALE. 399
agités. Or on remarque qu'il n'y a que les corps élastiques qui soient véritablement sonores, suivant cette définition; & que le son qu'ils rendent, est toujours proportionnel à leurs vibrations, soit pour la durée, soit pour l'intensité ou la force.

**XI.
LEÇON.**

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA Fig. 2. représente une cloche de verre suspendue fixement entre deux montans qui sont élevés sur une base; on frappe légèrement plusieurs coups sur les bords de cette cloche, pour la faire sonner; & aussitôt on fait avancer la vis *A* qui a son écrou dans l'épaisseur du montant: & on la fait avancer, jusqu'à ce que le bout soit fort près de la cloche sans la toucher.

E F F E T S.

On entend un petit frémissement du verre contre la pointe de la vis, & ce bruit dure autant que le son de la cloche subsiste.



II. EXPERIENCE.

XI.
LEÇON.

PREPARATION.

ON attache à deux points fixes une corde de clavecin ou de vielle, qui a environ deux pieds de longueur, & avec un curedent ou une épingle, on appuie dessus le milieu pour la mettre en jeu.

EFFETS.

Pendant que la corde résonne, on l'apperçoit sous la figure d'un parallélogramme *BCDE*, *Fig. 3.* & cette figure cesse avec le son, dès qu'on la touche avec le doigt, ou avec quelque autre corps solide.

EXPLICATIONS.

On peut regarder une cloche comme une suite de zones circulaires, dont les diamètres décroissant suivant une certaine proportion, sont représentés par les lignes ponctuées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, *Fig. 4.* & chaque zone, par rapport à son épaisseur, comme un anneau plat composé de plusieurs circonférences concentriques,

centriques, *Fig. 5.* Ce que je dirai d'un de ces anneaux plats, doit s'entendre de toutes les zones.

XI.
LEÇON.

Si la matière de la cloche n'étoit point poreuse, toutes les circonferences concentriques qui composent la largeur d'un anneau, & qui font l'épaisseur de la cloche, seroient autant de lignes pleines & sans interruption, comme les représente la *Fig. 5.* Mais comme les parties qui les composent, laissent entr'elles de petits intervalles, ces anneaux sont représentés par la *Fig. 6.* d'une manière plus conforme à la nature.

Maintenant qu'on se rappelle ce que nous avons dit * en expliquant le mouvement réfléchi : « Qu'une boule élastique qui tombe sur un marbre, perd sa figure sphérique, & ne la reprend qu'après avoir été quelque temps un ellipsoïde, dont le grand diamètre est de deux fois un, horizontal & ensuite vertical ». Il suit de-là que quand on frappe extérieurement le bord d'une cloche qui est un anneau élastique *a, b, c, d*, *Fig. 7.* il devient alternativement ovale sur deux sens; & c'est en cela même que

* Tome I. p.
311.

consistent ses vibrations. Ainsi la même partie de la cloche *a*, par exemple, se portant d'*f* en *g*, & de *g* en *f*, successivement avec une grande vitesse, heurte autant de fois le bout de la vis, & fait entendre ce frémissement qui a été le principal effet de la première expérience.

Mais cet anneau circulaire ne peut devenir ovale qu'à deux conditions :

1^{re}. Il faut qu'à deux endroits opposés de sa circonférence, les petites lames, ou les petits filets qui le composent, se plient d'abord davantage, & ensuite moins qu'ils ne le font, lorsqu'ils composent un cercle :

2^{me}. Il est nécessaire qu'aux endroits de la plus grande courbure, celles de ces parties qui forment les couches extérieures, s'écartent les unes des autres, plus qu'elles ne le font dans leur état ordinaire.

Quant à la corde tendue, il faut aussi se souvenir de ce que nous en

avons dit * en parlant des loix du ressort : « Que les vibrations qui nous la font voir sous la figure d'un parallélogramme, (parce qu'elles sont toujours très-promptes, & que les

impressions qui nous la représentent, faisant un angle en-haut, subsistent encore au fond de l'œil, lorsqu'il en naît d'autres qui nous la font voir, faisant un angle en-bas ;) . que ces vibrations, dis-je, se font en conséquence de la réaction de toutes les petites fibres, dont elle est composée. Car lorsque cette corde devient angulaire, elle est plus longue que quand elle tend en droite ligne d'un point fixe à l'autre. Il faut donc que ses moindres parties s'écartent un peu les unes des autres, pour se prêter à cet allongement, & qu'elles se rapprochent, pour se réduire dans la première longueur.

Ainsi dans la corde, comme dans la cloche, lorsqu'on excite le son, je conçois deux sortes de vibrations, les unes que j'appellerai *totales*, parce qu'elles sont du corps sonore tout entier, je veux dire, celles qui rendent les zones de la cloche ovales, de circulaires qu'elles sont, & qui nous font voir une corde de viole ou de clavecin sous la figure d'un parallélogramme ; les autres que je nommerai *particulières*, qui appar-

XI.
LEÇON

~~tiennent~~ tiennent aux parties insensibles, & qu'on peut regarder comme les élémens des premières.

XI.
LEÇON.

On avoit toujours cru que les corps étoient sonores par leurs vibrations totales; mais on s'est défabusé de cette fausse idée, & c'est principalement à MM. Pérault, Carré & de la Hire, qu'on doit cette correction. Le dernier de ces trois Académiciens prouve par une expérience bien simple, que le son consiste essentiellement dans les vibrations particulières des parties insensibles: » Que l'on tien-

* Voyez les
Mémoires de l'Ac.
pour l'année
1716 p. 264.

ne, dit-il, * une pincette suspendue sur le doigt, & qu'avec l'autre main on presse les deux branches pour les laisser échapper ensuite; elles se mettent en vibrations; mais elles demeurent muettes; au lieu de les mettre en jeu de cette manière, qu'on frappe dessus avec un doigt ou avec quelque autre corps solide, elles feront encore des vibrations comme dans la première épreuve; mais pour cette fois elles auront un son très-intelligible: qu'y a-t-il de plus ici, sinon un tremblement dans les parties du fer, & que

« l'on sent quand on y porte doucement la main? »

XI.
LEÇON.

C'est donc à des parties qui frémissent que le son doit être attribué ; & après cette expérience on doit être persuadé, que toutes les fois qu'il sera possible de séparer ces deux especes de vibrations, on n'aura jamais aucun son avec celles que nous appellons totales ; mais quand celles-ci naissent des autres, (& c'est le cas le plus ordinaire) quoiqu'elles ne fassent point le son par elles-mêmes, elles en régulent cependant la force, la durée & les modifications.

APPLICATIONS.

L'EXPLICATION des deux expériences précédentes peut servir à rendre raison de plusieurs faits qui ont rapport à cette matiere, & qui méritent attention. Pourquoi, par exemple, fait-on les cloches d'un métal composé d'étain & de cuivre rouge ? C'est que tout métal composé est plus dur, plus roide, & par conséquent plus élastique que les métaux simples qui entrent dans le mélange : & comme les corps sonores le sont d'autant plus

 XI.
 LEÇON.

que leurs parties ont plus de ressort ; on allie la matière des cloches & des timbres pour en tirer plus de son. La plupart des sonnettes cependant ne sont que de cuivre ; mais c'est un mauvais cuivre , un métal devenu aigre , que les ouvriers appellent *Potain* : comme cette matière est fort roide & cassante , elle est plus sonore que ne seroit un cuivre neuf & plus doux qu'on nomme *Rosette*. Quand on fait des sonnettes d'argent pour les cabinets , elles ne peuvent avoir qu'un assez mauvais son , si le métal est sans alliage , ou si l'on n'y supplée , en le forgeant à froid , ce qui lui donne plus de ressort.

On fait subitement cesser le son d'une cloche , en la touchant avec la main ou avec quelque autre corps , parce qu'on interrompt les vibrations. C'est pour cela que les timbres des horloges , lorsqu'ils sont couverts de neige , ne sonnent que sourdement , ainsi que les tambours que l'on couvre d'étoffe dans les cérémonies lugubres. Par la même raison une cloche fendue ne peut continuer ses vibrations , parce que les bords de la

fente se heurtent réciproquement , & font, l'un à l'égard de l'autre , ce que pourroit faire un corps étranger qui toucheroit la cloche. Le son seroit probablement moins interrompu , si au lieu d'avoir une simple fêlure , la cloche étoit entr'ouverte de la largeur d'un travers de doigt ou davantage. On peut remarquer encore que les Horlogers ont toujours soin que les marteaux des timbres soient relevés subitement après le coup par un ressort , afin que le même corps qui a excité le son ne l'altère pas , en restant trop long-temps appliqué au corps sonore.

Puisque le son n'est jamais qu'une suite de vibrations , on doit concevoir qu'il n'y en a point qui soit absolument continu ; s'il nous paroît tel , c'est que le silence d'une vibration à l'autre est trop court pour être aperçu. Rien n'est plus propre à faire sentir cette vérité qu'un instrument à anche , comme le haut-bois ou la musette : une anche est composée de deux lames à ressort & fort minces , de métal , de bois , ou de quelque autre matière ; elles sont jointes par

XI.
LEÇON.

un bout , & forment ensemble un petit tuyau ; par l'autre bout elles sont plates , & s'approchent de fort près sans se toucher. Lorsque le souffle de la bouche ou le vent d'un soufflet met l'anche en jeu , les deux lames battent l'une contre l'autre avec une vitesse extrême , & rendent un son qui paroît aussi continu que celui d'une flûte ou d'un violon. Cependant puisque ce son vient des coups multipliés d'une lame sur l'autre , il est incontestable qu'il y a un petit intervalle entre les battemens , & que le son qu'elles rendent n'est point continu.

C'est une mécanique assez semblable à celle d'une anche , qui fait la voix de la plupart des insectes ; car c'est une erreur de croire que le bourdonnement des mouches , le cri des cigales , celui des fauterelles & des grillons , vienne de la bouche de ces petits animaux , ou des organes par lesquels ils prennent leur nourriture : dans les uns c'est un certain battement des aîles ; dans les autres , c'est le jeu d'une espece de tambour , qu'ils ont quelquefois dans le ventre ; comme la cigale , & d'autres fois sur le
dos

dos vers le corcelet, comme il est aisé de l'observer à certaines sauterelles qui se retirent dans les buissons, & qui n'ont point d'aîles.

Mais le son doit-il toujours son origine au choc ou aux battemens de deux corps solides, comme celui d'une cloche qui est frappée par un marteau, ou celui d'une corde qui est pincée avec l'ongle, ou avec le bout d'une plume? Les fluides ne seroient-ils point sonores par eux-mêmes? ou bien ceux-ci frappés par des corps durs, ne seroient-ils pas capables de rendre des sons!

On fait à quoi s'en tenir sur ces questions, quand on réfléchit un peu sur certains effets qui se présentent journellement. Un coup de fouet qu'un charretier ou un postillon fait retentir, le bruissement d'une petite planchette qu'un enfant fait tourner rapidement au bout d'une ficelle, le sifflement d'une baguette que l'on secoue avec une grande vitesse, qu'est-ce autre chose que le son de l'air frappé par un corps dur! Dans tous ces cas, & dans une infinité d'autres, c'est donc un fluide qui résonne, &

 XI.
LEÇON.

dont les parties se mettent en vibrations pour avoir été choquées par un corps solide. Dans le son d'un sifflet, ou d'une flûte, je ne vois rien autre chose qu'un certain volume d'air qui part de la bouche du joueur pour frapper une autre masse d'air contenue dans l'instrument : car je pense que les vibrations du bois n'y entrent pour rien, (si ce n'est peut-être pour transmettre, avec plus ou moins d'éclat, le son qui est déjà formé.) Ce qui me fait croire que les vibrations de la flûte ne participent point à la formation des sons qu'elle rend, c'est qu'on la tient & qu'on la touche pendant qu'elle est en jeu, & que ses vibrations, si elle en avoit, cesseroient par ces attouchemens. L'instrument ne sert donc, pour ainsi dire, que de mesure & d'enveloppe au volume d'air sur lequel on souffle ; & l'on peut dire que tous les cas qui ressemblent essentiellement à celui-ci, sont autant d'exemples de sons rendus par des fluides qui s'entrechoquent.

Il y a des gens, comme on sait, qui cassent un verre à boire par le son de leur voix, en présentant l'ouver-

ture de la coupe devant leur bouche. Ce n'est pas , comme l'ont cru certaines personnes peu au fait de cette matiere , en prenant un ton aigre & dissonant , ni comme l'a prétendu un Auteur * (qui a fait une dissertation entiere sur ce fait) que l'air agité par la voix pénètre le verre , & le force de s'ouvrir. C'est au contraire en prenant l'unisson du verre , & seulement en forçant la voix ; car alors on augmente la grandeur des vibrations totales , & par conséquent celles des vibrations particulieres d'où elles résultent : mais comme ces dernieres ne peuvent se faire , sans que les parties du verre s'écartent les unes des autres , lorsqu'elles deviennent trop grandes , l'écartement de ces parties va jusqu'à séparation ou solution de continuité , & alors le verre tombe en pieces ; en un mot la voix forcée fait sur le verre , ce que fait un archet que l'on traîne trop fort sur une chanterelle. C'est encore ici un exemple du son excité , ou du moins augmenté , dans un corps solide par le choc d'un fluide.

XI.
LEÇON.

* Morhof.
de Siph. vitr.
per cert. hu-
manæ vocis-
sonum fracto.

 XI.
LEÇON.
Du MILIEU qui transmet les sons.

Les vibrations d'un corps sonore se passeroient dans un parfait silence, s'il n'y avoit entre lui & nous quelque matiere capable de recevoir & de transmettre cette espece de mouvement; car tel est l'ordre de la nature, qu'un corps n'agit point sur un autre, s'il ne le touche par lui-même ou par quelque matiere interposée; & de tous ceux qui ont imaginé des exceptions à cette loi générale, on peut dire qu'aucun n'en a encore donné des preuves suffisantes. Mais quand bien même le corps sonore agiroit sur une matiere, la propagation du son n'auroit pas encore lieu, si cette matiere inflexible ou trop molle n'étoit capable de s'animer du même mouvement que lui. Voici donc deux conditions également nécessaires & suffisantes dans le milieu qui doit transmettre le son : 1^{ment}, il doit avoir une certaine densité, afin que ses parties agissent assez fortement & assez librement les unes sur les autres : 2^{ment}, il doit être élastique, parce que le mouvement

EXPERIMENTALE. 413
de vibration naît du ressort des parties.
Les expériences qui vont suivre serviront de preuves à ces deux propositions.

XI.
LEÇON.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On établit sur la platine d'une machine pneumatique, *Fig. 8.* un petit mouvement d'horlogerie, qui, lorsqu'il est en jeu, fait mouvoir deux marteaux qui battent alternativement sur un timbre. Cet instrument est monté sur une base de plomb, qui est garnie par-dessous d'un coussinet rempli de coton ou de laine (*a*) ; on couvre le tout d'un récipient qui est garni par en haut d'une boîte à cuirs : la tige de métal qui passe à travers, sert à détendre le petit levier *F*, pour mettre le rouage en mouvement, aussitôt qu'on a raréfié l'air du récipient le plus qu'il est possible.

E F F E T S.

Si l'air est suffisamment raréfié, &

(*a*) Cet instrument est représenté plus en grand, *Tome I. 3^e Leçon, Pl. 2. Fig. 5.*

M m ij

XI.
LEÇON.

que la tige de la boîte à cuirs ne touche plus au levier de la détente, on voit battre les marteaux sans entendre aucun son ; mais si l'instrument touche à la platine, au récipient ou à quelque autre corps dur qui communique au-dehors , comme la tige qui a servi à détendre le levier, on entend un peu le tact des marteaux.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

IL faut fixer une montre à réveil sur une platine de plomb épaisse de 4 à 5 lignes , que l'on couvre ensuite d'un petit récipient dont on lute les bords sur le plomb avec de la cire molle : on suspend ensuite cet assemblage avec 4 fils qu'on réunit au-dessus du récipient , pour le plonger dans un grand vase cylindrique qui contient environ 30 pintes d'eau , que l'on a purgée d'air. *Voyez la Fig. 9.*

EFFETS.

Lorsque le réveil vient à sonner, on l'entend quoiqu'il soit environné de plusieurs pouces d'eau de toutes

5.

Fig. 6.

Fig. 7.

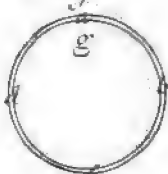


Fig. 3.

C

E

D

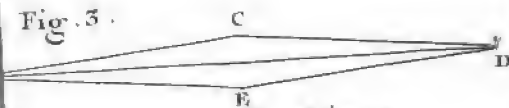
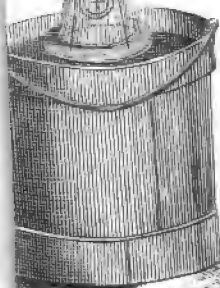


Fig. 1.



Fig. 9.





Un timbre qui fait ses vibrations dans le vuide, ne les peut communiquer à rien; par conséquent, puisqu'elles n'operent le son que quand elles se transmettent, elles doivent se passer dans le vuide avec un profond silence. A la vérité il n'y a point un vuide absolu dans le récipient de notre expérience; mais l'air qui y reste est si raréfié, que ses parties alors trop lâches n'ont point assez de réaction. Il manque à ce fluide la première des deux conditions que nous avons marquées ci-dessus, c'est-à-dire, une densité suffisante qui mette les parties en état d'agir fortement les unes sur les autres.

On dira peut-être qu'au défaut de l'air grossier, il y a toujours dans ce vaisseau une matiere plus subtile, ne fût-ce que celle de la lumiere ou du feu; mais apparemment que cette matiere, telle qu'elle soit, n'est point propre à la propagation du son, soit que son ressort ne soit point analogue à celui des corps sonores, soit que

ceux-ci n'ayent point de prise sur elle ; à cause de l'extrême facilité avec laquelle elle pénètre tous les corps.

Cette expérience du timbre ou d'une sonnette dans le vuide, si connue & tant répétée dans les colleges , a fait conclure à bien des gens , que l'air est le seul milieu propre à la propagation du son. Qu'il y soit propre & plus qu'un autre , cela n'est point douteux ; qu'il soit le seul, je crois que c'est trop dire. Car pourquoi cette même expérience ne réussit-elle pas au gré de ceux qui la font, quand ils n'ont pas soin d'isoler le corps sonore , ou d'empêcher qu'il ne touche immédiatement la platine , le récipient ou quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors ! n'est-ce point parce que le son se transmet par les corps solides qui ont communication d'une part avec le timbre , & de l'autre avec l'air extérieur ?

D'ailleurs la quatrième expérience ne nous laisse, ce me semble , sur cela aucun doute. Si le son ne pouvoit se transmettre que par l'air , pourquoi l'entendrait-on lorsque le corps sonore enfermé par le verre & par le

plomb, se trouve plongé dans un vase plein d'eau ! n'est-on pas forcé de reconnoître que le son se communique du réveil à l'air qui l'environne, de l'air au récipient, du récipient à l'eau, & de l'eau à l'air extérieur !

XI.
LEÇON.

Dira-t-on que cette communication ne se fait point par les parties propres du verre & de l'eau, mais par celles de l'air qu'ils contiennent, & qui se trouve naturellement dans tous les corps.

J'ai prévenu cette objection en me servant d'eau purgée d'air : & quand on m'objecteroit encore, que l'on n'ôte jamais tout l'air qui est dans l'eau ; j'aurois à répondre que j'en ai ôté une grande partie, & que si cet air contribuoit nécessairement à la propagation du son, je devrois au moins trouver une différence sensible, en répétant la même expérience avec pareille quantité d'eau non-purgée d'air ; ce que je n'ai cependant jamais apperçu, quelque attention que j'aye apporté.

Si quelque raison pouvoit faire douter que les parties de l'eau fussent capables par elles-mêmes de transf-

XI.
LEÇON.

mettre les sons, ce seroit l'opinion où l'on est communément, que les liqueurs ne sont point compressibles; car si cela étoit à la rigueur, elles n'auroient pas de ressort; & tout corps qui n'est point élastique, n'est point susceptible d'un mouvement de vibration.

Mais sur quel fondement a-t-on cru jusqu'ici que les liqueurs étoient incompressibles? C'est parce que les Académiciens de Florence, & plusieurs autres Physiciens qui les ont éprouvées à cet égard, n'ont jamais pu retraindre leur volume par compression. Mais cela suffit-il pour établir sans restriction que les liquides sont incompressibles? n'auroit-on pas conclu plus sagement, que si elles se compriment par les efforts que nous sommes en état d'employer contre elles, c'est d'une si petite quantité, que leur volume n'en diminue jamais sensiblement?

Aucun fait connu ne prouve donc l'incompressibilité absolue de l'eau; j'ai exposé ailleurs * des raisons qui combattent fortement cette opinion; & il me semble que notre dernière ex-

* *Tome I.*
p. 122. & s.

expérience achève de la détruire : car si l'eau transmet le son, elle est élastique ; & si elle est élastique, il faut qu'elle soit compressible.

APPLICATIONS.

PUISQUE le son se transmet par les corps solides , comme le prouvent d'une manière incontestable les précautions qu'il faut prendre, pour faire réussir la première des deux expériences précédentes ; on ne doit plus être aussi surpris d'un fait qui amuse les enfans , & qui intéresse l'attention des personnes les plus sérieuses ; c'est d'entendre distinctement le choc d'une épingle contre l'extrémité d'une longue poutre , lorsqu'on a l'oreille à l'autre bout : car à cause de la contiguïté des parties, ce choc est rendu à l'air qui touche le bout opposé de la pièce de bois. Il est cependant toujours bien singulier que le bruit perde si peu de sa force pour parvenir à une si grande distance , tandis qu'à peine peut-il être entendu à travers l'épaisseur de la même poutre ; c'est apparemment parce que les fibres longitudinales du bois sont bien moins inter-

XI.
LEÇON.

rompues par leur porosité, que ne l'est l'assemblage de ces mêmes fibres qui fait l'épaisseur de la piece.

Non-seulement le son excité dans l'eau se transmet à l'air de l'atmosphère, mais aussi celui qui naît dans l'air passe dans l'eau, & y fait sentir toutes ses modifications. J'ai eu la curiosité de me plonger exprès à différentes profondeurs dans une eau tranquille, & j'y ai entendu très-distinctement toutes sortes de sons, jusqu'aux articulations de la voix humaine.

Il est vrai que tous ces sons étoient fort affoiblis, sans doute parce que les parties de l'eau, beaucoup moins flexibles que celles de l'air, ne peuvent avoir des vibrations ni si amples ni d'une si longue durée: mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que cet affoiblissement se fait presque tout entier au passage de l'air dans l'eau; car à trois pieds de profondeur, j'entendois presque aussi bien qu'à trois pouces.

C'est une question parmi les Naturalistes de savoir si les poissons ne sont pas sourds comme ils sont muets;
¶ Plin. & quoique les plus habiles * s'en

soient mêlés, elle est encore indécise, au grand étonnement du vulgaire, qui juge toujours sur les premières apparences, & sur l'analogie la moins approfondie. « Tous les autres animaux entendent; pourquoi les poissons n'entendroient-ils pas? Les poissons fuient comme les oiseaux quand on fait du bruit: les uns comme les autres en sont donc effarouchés? » Mais le vulgaire ne fait pas qu'on ne connoît point d'oreilles aux poissons, ni rien qui en fasse l'office; il ignore aussi qu'on a coutume de regarder l'eau qui est leur élément naturel, comme incapable de ressort, & que dans cette supposition, on seroit bien fondé à la croire imperméable au son. Si le poisson fuit quand on fait du bruit, il faut être bien assuré qu'il n'a pu appercevoir aucun mouvement qui l'ait déterminé à fuir; & je fais par moi-même que ce n'est point une chose fort aisée à décider, pour quelqu'un qui est en garde contre le préjugé (a)

XI.

LEÇON.

Boyle, Arthedi, Rondelet, &c.

(a) Voyez dans les *Mémoires présentés à l'Académie Royale des Sciences, par les Savans*

 XI.
LEÇON.

Quoi qu'il en soit, si le poisson n'entend point les sons qui viennent de l'air, l'empêchement ne vient pas de l'eau, puisqu'elle les transmet ; je ne regarde point non plus comme une raison qui établisse absolument sa surdité, un défaut d'oreilles semblables à celles des autres animaux : cet organe, dans le poisson, pourroit être tout autrement constitué qu'il ne l'est dans les animaux qui respirent l'air ; que fait-on si ce sens n'est point universel pour eux, comme le toucher l'est pour nous ? ce qui me fait hazarder ce soupçon, c'est qu'ayant plongé avec moi des corps sonores, le bruit ou le son que j'ai fait naître dans l'eau, m'affectoit tout le corps par une certaine commotion très-sensible, ce qui vient sans doute de la grande solidité des parties de l'eau. (a)

Par quelque milieu que le son se

Etrangers, tom. 2. p. 164. un Mémoire de M. Geofroi, Docteur en Médecine de la Faculté de Paris, qui est le commencement d'un excellent travail sur cette matière.

(a) Voyez les expériences que j'ai faites *sur la transmission des sons dans l'eau*, Mémoire de l'Académie des Sciences, 1743. p. 119.

transmette, il employe un temps qui est sensible, lors même que la distance est assez médiocre ; bien différent en cela de la lumière, dont la propagation se fait dans un instant très-court à des distances fort grandes. Cette différence est un moyen commode, & dont on n'a pas manqué de faire usage pour mesurer la vitesse du son. Car si l'on fait tirer un coup de canon ou une boîte à une distance connue, on peut prendre sans erreur sensible, l'éclat de lumière qu'on appercevoit comme le signal du son naissant ; & l'on comptera, par le moyen d'un pendule à secondes, le temps qui s'écoulera jusqu'à ce qu'on l'entende ; ainsi le temps sera connu comme l'espace, ce qui donnera la vitesse.

Cette expérience faite & répétée depuis long-temps par l'Académie del Cimento, par MM. Flamsteed, Halley, Derham, &c. avoit fait conclure la vitesse du son, de 180 toises mesure de France par seconde ; mais il restoit encore quelque incertitude sur les résultats, soit parce qu'ils ne s'accordoient point parfaitement entr'eux, soit parce qu'on avoit employé

des distances trop peu considérables :

XI.

LEÇON.

* *Mém. de
l'Acad. des
Scienc.* 1738.
p. 128.

En 1738, l'Académie des Sciences*, pour terminer avec précision une question qui peut être d'une application utile, soit pour la Géographie, soit pour la sûreté de la navigation, chargea MM. de Turi, Maraldi, & l'Abbé de la Caille, de faire à cet égard les expériences nécessaires, & avec les précautions les plus convenables au sujet. Ces Académiciens firent leurs opérations sur une ligne de 14636 toises qui avoit pour termes la tour de Montlhery, & la pyramide de Montmartre ; & voici quels en furent les principaux résultats.

1°. Le son parcourt 173 toises mesure de Paris en une seconde de temps, de jour ou de nuit, par un temps sec ou par un temps pluvieux. Le mouvement de la lumière n'a donc point de part à la propagation du son ; & les vapeurs mêlées avec les particules de l'air n'interrompent point le mouvement de vibration.

2°. S'il fait un vent dont la direction soit perpendiculaire à celle du son, celui-ci a la même vitesse qu'il auroit par un temps calme.

3°.

3°. Mais si le vent souffle dans la même ligne que parcourt le son, il le retarde ou il l'accélère selon sa propre vitesse; c'est-à-dire, qu'avec un vent favorable le son parcourt 173 toises par seconde, plus la vitesse du vent; & tout au contraire, si le vent est directement opposé. Et voilà pourquoi, lorsque le vent change de direction & de vitesse, on entend du même lieu certaines cloches que l'on ne peut entendre dans d'autres temps. Ainsi connoissant la vitesse du son accélérée par le vent, on pourra estimer la vitesse propre du vent; car ôtant de la vitesse accélérée 173 toises par seconde pour celle du son, le reste sera celle du vent.

4°. La vitesse du son est uniforme, c'est-à-dire, que dans des temps égaux & pris de suite, il parcourt toujours des espaces semblables.

5°. L'intensité ou la force du son ne change rien à sa vitesse: quoiqu'un son plus fort s'étende plus loin qu'un plus foible; celui-ci parcourt comme l'autre 173 toises par seconde.

Toutes ces connoissances, & les épreuves par lesquelles on les a acqui-

 XI.
LEÇON.

ses, fournissent des moyens prompts & commodes , pour mesurer l'étendue des lieux où les opérations géométriques ne sont point nécessaires ou pratiquables , comme la largeur des lacs ou des rivières à leur embouchure. Car puisqu'après avoir apperçu la lumière d'une arme à feu , chaque seconde de temps répond à une distance de 173 toises , c'est une chose fort aisée de savoir combien il s'est écoulé de secondes , jusqu'au moment où le bruit s'est fait entendre. Le même moyen peut être d'un grand secours dans un temps couvert , pour des vaisseaux qui craignent de se briser contre les côtes ; car si au lieu d'un fallot , qui en pareil cas ne se voit pas de fort loin , on faisoit tirer de temps en temps quelques boîtes ou quelques coups de canon , cette lumière , qui est beaucoup plus active & plus pénétrante , indiqueroit bien mieux l'endroit que l'on doit aborder ou éviter , & le bruit qui succéderoit , en marquerait la distance à des navigateurs attentifs.

Nous avons dit ci-dessus , que les corps sont d'autant plus sonores qu'ils

ont plus de densité, & en même temps plus de ressort : il en est de même de tous les milieux qui transmettent le son ; & comme l'air est celui de tous, qui nous est le plus familier, nous nous y arrêterons par préférence.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

AB, Fig. 10. est une planche fort épaisse sur laquelle sont élevés deux piliers *C*, *D*, qui reçoivent par en haut une traverse *EF*; cette dernière pièce est assujettie par deux vis qui la font descendre autant qu'il est nécessaire, pour presser fortement un récipient de verre fort épais. Ce vaisseau repose d'une part sur des cuirs-mouillés, & il est fermé par en haut avec une platine de métal, garnie aussi d'un cuir mouillé par dessous, de sorte que l'intérieur du récipient, lorsqu'il est ferré dans son châssis, ne communique qu'avec la pompe foulante *G*, par un petit canal où l'on a pratiqué un robinet. Cette pompe est tout-à-fait semblable à celle que nous avons décrite ci-dessus * en par-

N n ij.

* P. 231.

 XI.
 LEÇON.

lant de la fontaine de compression ; c'est-à-dire , qu'il y a au bout , immédiatement avant le robinet , une petite soupape qui permet que l'air sorte de la pompe , mais non pas qu'il y revienne du récipient lorsqu'on relève le piston : ainsi le robinet étant ouvert , on peut condenser l'air dans le récipient , autour d'une sonnette qui est suspendue de manière qu'on peut la faire sonner en balançant un peu le chaffis.

Comme l'air fortement condensé fait un grand effort , c'est une sage précaution à prendre que de revêtir le vaisseau d'une cage d'un gros fil de fer , afin que s'il vient à crever , les éclats ne causent aucun dommage.

Pour condenser l'air en proportions connues , il faut enfermer dans le récipient , un petit siphon renversé dont la branche la plus longue soit fermée , & qui contienne , à l'endroit de sa courbure , un peu de mercure , ou de liqueur colorée , *Fig. 11.* car à mesure que l'air deviendra plus dense , en pressant par la branche la plus courte qui est ouverte , il forcera la liqueur de monter dans l'autre , &

condensera l'air *a b* autant qu'il le fera lui-même : ainsi quand cette petite colonne d'air sera resserrée dans un espace d'un tiers ou de moitié plus petit qu'auparavant , (ce qu'on apercevra par la graduation de la petite planche ,) on jugera que l'air du récipient est condensé d'un tiers, ou une fois davantage.

EFFETS.

Quand l'air a été condensé dans le récipient, le son que rend la sonnette est sensiblement plus fort qu'il n'a coutume d'être, lorsque l'air est dans son état naturel ; car alors on l'entend de plus loin.

EXPLICATIONS.

Puisque le son consiste essentiellement dans les vibrations de toutes les parties qui composent le corps sonore, il doit y avoir plus de son partout où il se trouve plus de parties sonnantes, & un ressort plus actif : or ces deux choses se rencontrent, lorsque l'air est plus condensé : ses parties sont plus serrées ; il y en a un plus grand nombre dans un espace donné,

430 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
LEÇON.

& le ressort de chacune de ces parties est plus tendu ; l'air, en cet état, doit donc être plus sonore que quand il est plus rare.

Hauxbée, auteur de cette expérience *, ne s'est point contenté d'apprendre en général que le son devient plus fort, lorsqu'on augmente la densité & le ressort de l'air ; il a porté ses recherches jusques sur les proportions de cet accroissement. Avant que de condenser l'air, il a marqué la distance à laquelle on cessoit d'entendre la sonnette enfermée dans le récipient : puis l'ayant condensé une fois plus que dans son état ordinaire, il trouva que le son s'étendoit à une distance une fois plus grande ; & qu'après avoir triplé la densité de l'air, on entendoit la sonnette de trois fois plus loin, &c.

Que falloit-il conclure de ces effets ? que le son augmente en raison directe de la densité de l'air ? non, le rapport est plus grand ; car quand on entend la sonnette à une distance double, il faut qu'à une distance de moitié moins grande, le même son soit quatre fois plus fort, & en voici la raison.

Le corps sonore communique de toutes parts ses vibrations à l'air qui l'environne : Son action se propage donc par des rayons de ce fluide qui vont toujours en s'écartant les uns des autres comme ceux d'une sphere ; & l'oreille qui écoute devient la base d'un cône d'air animé par le corps sonore qui est au sommet. *Voyez la Fig. 12.*

XI.
LEÇON.

Or c'est une chose connue de tous ceux qui ont quelques notions de Mathématiques, que le cercle dont le diamètre est deux fois plus grand que celui d'un autre, renferme par sa circonférence un espace qui a quatre fois plus d'étendue ; & pour exprimer cette proportion d'une manière générale, les cercles sont entr'eux comme les quarrés de leurs diamètres, ainsi le cône abc , a une base quatre fois plus étendue que ade , qui est une fois plus court ; car de , diamètre de celui-ci, n'est que la moitié de bc , diamètre de l'autre ; & par conséquent, si l'ouverture de l'oreille qu'on suppose circulaire, est d'un diamètre égal à de , lorsqu'elle est placée à la 1^{re} distance, elle reçoit quatre fois plus de rayons

432 LEÇONS DE PHYSIQUE

sonores qu'elle n'en recevoit à la 2^{de} distance.

XI.

LEÇON.

Par la même raison, elle en recevoit 9 fois moins à la 3^{me}, 16 fois moins à la 4^{me} : & comme 16 est le quarré de 4, 9 le quarré de 3, 4 le quarré de 2 ; on peut dire généralement que *le son décroît comme le quarré de la distance qui augmente.*

Mais puisqu'ayant doublé la densité & le ressort de l'air tout ensemble, on entend le son deux fois plus loin qu'auparavant ; qu'avec un air 3 fois plus dense, & 3 fois plus élastique, on l'entend à une distance 3 fois plus grande ; en suivant le principe que je viens d'expliquer, il faut que l'intensité du son soit, ou comme le quarré de la densité, ou comme le quarré de l'élasticité de l'air, ou bien comme le produit de l'une multipliée par l'autre. M. Zanotti * curieux de savoir laquelle de ces trois loix étoit celle de la nature, s'est enfin fixé à la troisième, après des expériences autant ingénieuses que délicates, & dont il faut voir le détail dans ses ouvrages, ou dans les extraits qu'on en a faits.

* De Bononiensi Scient. & Art. Instituto Commentarii, p. 176.

APPLICATIONS.

IL suit de ces principes fondés sur l'expérience & sur le raisonnement , que les corps sonores doivent se faire entendre plus fortement par un temps froid que lorsqu'il fait fort chaud , puisqu'alors l'air est plus condensé , & qu'il a plus de ressort : mais cette augmentation de densité n'est point assez considérable apparemment pour avoir un effet sensible à l'égard des sons , ou bien comme ces changemens se font par degrés & lentement , ce qui en résulte pour l'augmentation ou pour l'affoiblissement des sons , ne se fait point remarquer.

Tout le monde connoît l'effet des trompettes parlantes , ou *porte-voix* : le Chevalier Morland , & ceux qui se sont appliqués comme lui à perfectionner cet instrument , semblent n'avoir eu en vûe que la direction des rayons sonores , & avoir rapporté à cette seule cause l'augmentation du son ; c'est pourquoi M. Hase veut qu'il soit composé de deux parties, dont une soit elliptique , & l'autre parabolique , *Fig. 13.* & qu'elles ayent un

 XI.
 LEÇON,

foyer commun en *b*, afin, dit-il, que les rayons partant de l'embouchure *a*, premier foyer de la portion elliptique, & étant réfléchis de tous les points *c*, *d*, *e*, *f*, &c. se croisent au foyer *b*, qui est commun à la portion parabolique, pour être ensuite réfléchis parallèlement des points *h*, *i*, *k*, *l*, &c.

On ne peut nier assurément que cette forme ou quelque autre peut-être encore plus avantageuse, ne contribue beaucoup à augmenter le son dans la direction *ag*, ou suivant l'axe de l'instrument; puisqu'il doit se trouver par ce moyen autant de mouvement dans la colonne d'air *ilmn*, qu'il y en auroit dans toute l'hémisphère, dont le centre seroit occupé par la bouche d'un homme qui parleroit sans porte-voix. Mais doit-on être satisfait de cette raison, quand on demande pourquoi à côté & derrière l'instrument, le son paroît encore si fort augmenté? Comme la réflexion du son suit les mêmes loix que celle de la lumière, supposons que le porte-voix de M. Hase soit poli intérieurement comme un miroir, & plaçons en *a* un point radieux comme

une bougie ; que doit-il arriver ? la lumière sera condensée , & il fera certainement plus clair en *m n* , qu'il n'y feroit sans le secours de l'instrument ; mais tous les environs , au lieu d'être plus éclairés , seront dans une grande obscurité. Il y a donc , à l'égard du son , quelque autre chose qu'un mouvement réfléchi en conséquence de la figure du porte-voix.

Oui sans doute , & l'on peut dire en général que le son augmente toutes les fois que le corps sonore imprime son mouvement à un air qui est appuyé ; la voix se fait mieux entendre dans les rues d'une ville qu'en rase campagne , & mieux encore dans une chambre close que dans la rue : c'est que les particules d'air qui ont été plus fortement pliées , font des vibrations plus grandes ; & l'air , comme tout autre ressort , se comprime d'autant plus , qu'il se déplace moins pendant que la puissance comprimante agit sur lui.

Mais cette augmentation du son causée par l'immobilité de l'air est encore plus sensible , quand c'est un corps dur qui arrête & qui soutient.

O o ij

 XI.
 Leçon.

les parties de ce fluide. Un Orateur se fait mieux entendre , quand il y a moins de monde pour l'écouter , & que le lieu où il parle n'est pas meuble ; car alors le son , au lieu de s'amortir , comme il fait en frappant des corps mols & sans réaction , revient sur lui-même , ou se porte d'un autre côté , suivant la maniere dont il est réfléchi. Voilà pourquoi le bruit du tonnerre , celui du canon ou d'un fusil , s'étend plus loin dans les vallées & le long des rivières que dans le pays plat ; & que dans les aqueducs & dans les autres souterrains voûtés , la voix la plus forte se porte intelligiblement d'un bout à l'autre. C'est encore par la raison d'un air immobile , (d'ailleurs fortement comprimé , & appuyé contre des parois fort dures) qu'un homme enfermé dans l'eau sous la cloche du plongeur , pensa s'évanouir par l'étonnement que lui causa le son d'un cornet ou petit cor qu'il essaya d'emboucher.* On doit expliquer par le même principe ce qui surprend les curieux dans des édifices où la voix la plus basse se fait entendre d'un angle à l'autre , sans que les assistans

* Sturm, Col-
leg. Curios T.
II, Tensam 1.

qui sont placés par-tout ailleurs, puissent entendre un mot de ce qu'on dit; car ces angles sont ordinairement continués à la voûte, & ils contiennent une portion d'air qui ne se déplace point, & dans laquelle le son devient & se conserve plus fort; & la figure de la voûte occasionne des réflexions telles qu'il les faut pour le transmettre.

Enfin quand la masse d'air qui reçoit le son, se trouve contenue par des parois qui étant dures, sont encore minces & élastiques, au premier effet dont je viens de parler, il s'en joint un autre; non-seulement le son augmente en dedans, parce que l'air intérieur est solidement appuyé; mais ce même son augmenté se transmet aussi à l'air extérieur, parce qu'il frappe un corps élastique & qu'il le met en jeu. Pour preuve de ceci, que l'on supprime, que l'on crève, ou qu'on lâche seulement l'une des peaux d'un tambour; en frappant sur celle qui reste, on n'en tirera pas autant de son qu'auparavant; d'où vient cette différence? c'est que l'air contenu dans la caisse n'a plus d'appui par en bas, au

XI.
LEÇON.

XI.
LEÇON.

lieu que quand il est appuyé sur une peau bien tendue , il reçoit plus de mouvement , parce qu'il résiste davantage ; & il le communique au-dehors , parce qu'il repose sur un corps élastique.

Maintenant on voit bien pourquoi le son augmente non-seulement dans la direction du porte-voix , mais aussi dans tous les environs ; car cet instrument , comme on fait , est fait de feuilles de métal fort minces , & par conséquent très-propres à transmettre au-dehors le son qui augmente beaucoup au-dedans , parce que la masse d'air que la voix frappe , est contenue par des parois fort dures.

Ce que je dis du porte-voix peut s'entendre de tout autre instrument , même de ceux qui sont à cordes : car pourquoi faut-il , par exemple , qu'un clavecin ou une basse de viole , soit une caisse de bois mince & élastique ? c'est que sans cela le son des cordes se communiqueroit à un air vague & sans appui , qui échapperoit , pour ainsi dire , à leur choc , au lieu qu'elles agissent sur une masse qui est comme forcée de recevoir d'elles un plus grand

mouvement, & qui le transmet au-
dehors par la réaction du bois.

XI
LEÇON

Le son comme tout autre mouve-
ment change de direction, lorsqu'il
rencontre des obstacles qui ne l'ab-
sorberont point: & alors il suit la loi
commune; * l'angle de sa réflexion
devient égal à celui de son incidence, * Tor.
p. 289.

Le son réfléchi que l'on nomme
communément *Echo*, ne se distingue
point du son direct, c'est-à-dire, de
celui qui vient immédiatement du
corps sonore: quand la réflexion se
fait de fort près, l'un & l'autre se con-
fondent. Mais lorsqu'il y a une distan-
ce suffisante, comme le son qui vient
par réflexion, fait plus de chemin
que celui qui vient directement, il
arrive plus tard à l'oreille, & y répé-
te la première impression. Supposons,
par exemple, qu'une personne parle
à voix haute, vis-à-vis d'un rocher O,
éloigné de 173 toises, *Fig. 14.* elle
s'entendra parler dans le même in-
stant; mais le son qui ira frapper en
O, & qui reviendra à elle par réflé-
ction, emploiera deux secondes de
temps à cause du double trajet de 173
toises. Et parce que le son qui va plus

II.
SON. loin, met plus de temps pour aller & pour revenir, s'il y a des obstacles en P & en Q, qui réfléchissent les rayons sonores vers le même endroit, on y entendra successivement deux, trois ou quatre échos. C'est encore par cette raison, qu'étant placé en r, *Fig. 12.* on entend d'abord le son de la cloche a par le rayon ar, & ensuite l'écho de la même cloche par les rayons as, sr.

Les échos ne se trouvent point en rase campagne, mais très-communément dans les bois, dans les rochers, & dans les pays montagneux, parce que le son y rencontre bien fréquemment des obstacles qui le réfléchissent; on en a observé qui répètent un grand nombre de fois, comme celui de Wostock, qui répète distinctement 17 syllabes pendant le jour, & 20 pendant la nuit*: mais on a toujours observé en même temps que les dernières répétitions sont plus foibles que les premières, ce qui est une conséquence nécessaire; car les sons qui viennent les derniers, ont fait plus de chemin que les autres, & le son est un mouvement qui diminue comme le quarré de la distance qui augmente,

, Plot:
nat. de
province
ort en
terre.

Fig. 12.

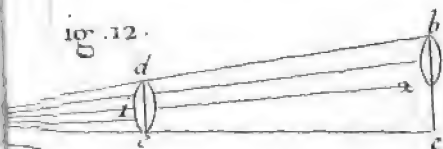


Fig. 13.

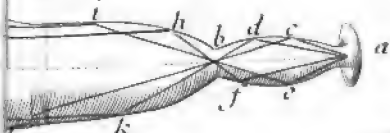


Fig. 14.



PLATE II.

10

1000

à moins que l'obstacle qui réfléchit les rayons sonores, ne soit d'une figure propre à diminuer leur divergence.

XI
LEÇON

Les échos deviennent quelquefois des phénomènes fort singuliers, par la rareté des circonstances qui les font naître : à trois lieues de Verdun il y a deux grosses tours éloignées l'une de l'autre de 36 toises, lorsqu'on parle un peu haut dans la ligne qui joint ces deux édifices, la voix se répète 12 ou 13 fois, toujours en s'affoiblissant; les deux tours se renvoient le son alternativement, comme deux miroirs qui se regardent, multiplient l'image d'une bougie placée entre eux : * on voit encore la description d'un écho plus singulier dans les Mémoires de l'Académie, imprimés avant 1700. ** On trouve assez facilement la cause de tous ces effets, en étudiant avec un peu d'attention, la nature & la position des lieux, ou la figure de tout ce qui est élevé sur le terrain.

* Hist
P Acad.
Scienc 1,
P. 13.
* Tom. 1
187.

De l'Ouie, & de son Organe.

DANS le premier volume de cet ouvrage j'ai fait une digression sur les

442 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
LEÇON.

sens , où j'ai traité seulement du toucher , du goût & de l'odorat ; on a dû voir par ce que j'en ai dit , que ces trois premiers sens ne nous mettent en commerce qu'avec les objets qui agissent immédiatement sur nous , soit par eux-mêmes , soit par leurs émanations. Mais à quoi en serions-nous réduits , s'il n'y avoit rien de sensible pour nous , que par des actions immédiates ; si nous n'appercevions une bête féroce ou venimeuse , que par sa morsure , une pierre qui menace notre vie , que quand elle commence à nous écraser ? Quel tableau seroit-ce que celui du monde , si tous les hommes ressembloient à ces créatures imparfaites , qu'une surdité ou un aveuglement de naissance met hors d'état de participer à la plupart des idées communes (a) , & qui seroient plus malheureuses encore , si plus favorablement traités par la nature , nous n'étions capables d'adoucir un peu la rigueur de leur sort. Par le secours de l'ouïe & de la vûe

(a) Voyez l'histoire d'un sourd & muet de naissance qui commence à entendre & à parler à l'âge de 24 ans. *Hist. de l'Académie des Sciences* , 1703. p. 18.

nous sortons , pour ainsi dire , de nous-mêmes ; nous allons au-devant des objets ; nous les jugeons de loin ; & sur le rapport de ces deux sens , le désir ou la crainte nous fait prendre & les moyens & les précautions nécessaires à notre bien-être.

On auroit peine à dire ce qui nous est le plus nécessaire , ou de la vûe ou de l'ouïe. C'est ordinairement en supposant la privation de l'une ou de l'autre , que l'on essaye d'en juger ; mais bien souvent cette comparaison manque de justesse & conduit à un faux jugement , parce qu'on ne met pas les circonstances égales de part & d'autre. Il y a une grande différence à faire d'un aveugle ou d'un sourd de naissance , à celui qui a vû ou entendu jusqu'à un certain âge , & qu'un accident a privé de l'un de ces deux sens ; je n'ai point assez médité sur les regrets d'un homme qui sait qu'on peut voir , & qui n'a jamais vû , pour les comparer à ceux d'un autre homme qui sait qu'on peut entendre , & qui n'a jamais entendu ; j'ignore quelle est leur peine , & de quel côté il y en a davantage ; mais à présent que

je sens combien il est difficile de faire naître des idées à quelqu'un qui n'entend point, & de combien de connoissances divines & humaines est privé un homme qui n'a pu avoir aucune éducation, j'aimerois mieux être né aveugle que sourd. Je choisirois tout différemment, si connoissant l'écriture, & les autres signes communs à la société, il me falloit opter entre l'ouïe & la vue; de ces deux biens le dernier me toucheroit davantage.

Cependant, dit-on, toutes choses égales d'ailleurs, un sourd est toujours plus triste qu'un aveugle.

Si vous appelez tristesse, un air absent & étranger à la conversation, vous avez raison; il n'y prend aucune part: mais en est-il plus affligé qu'un aveugle devant qui l'on dispute de la beauté d'une étoffe? je ne le crois pas, à moins qu'il ne s'imagine qu'on parle de lui, ou de ce qui l'intéresse; & alors ce n'est plus simplement à un aveugle devant qui l'on dispute d'une étoffe, qu'il le faut comparer; mais à un aveugle à qui il importe de savoir si cette étoffe est belle ou laide: je veux dire que les regrets de l'un & de

L'autre sont égaux, quand l'intérêt est égal de part & d'autre; mais je pense que l'aveugle a plus d'occasions de regretter, parce qu'on ne supplée point à la vûe, ni aussi facilement, ni aussi parfaitement qu'à l'ouïe. On a vû des gens qui étant devenus sourds à un certain âge, s'étoient fait une habitude d'entendre au seul mouvement de levres, tout ce qu'on leur disoit, & même de converser ainsi avec d'autres sourds. *

Au reste pourquoi chercher quel est le plus avantageux de deux biens qui le sont peut-être également ? il semble que la nature l'ait décidé ainsi, puisque ne faisant jamais rien de superflu, elle a pourtant jugé à propos de nous donner deux oreilles; comme elle nous a donné deux yeux.

L'ouïe a pour objet le bruit & le son, dont nous avons parlé précédemment; la différence qu'il y a entre l'un & l'autre, c'est que le premier est un tremoussement irrégulier, ou peut-être un assemblage de plusieurs sons qui sont ensemble sur l'organe une impression confuse, au lieu que le son proprement dit consiste

XI.
LEÇON.

* *Mém. de Trév. Sep-temb. 1701. P. 9. Transact. Philosoph. n.º 312.*

 XI.
LEÇON.

dans des vibrations régulières, homogènes, & qui se font sentir plus distinctement ; peut-être même les sons n'affectent-ils qu'une certaine partie de l'organe, & que le bruit les ébranle toutes en même temps.

L'oreille est l'organe de l'ouïe ; c'est par cette partie qui paroît extérieurement en forme d'entonnoir aux deux côtés de la tête, que le son s'introduit, pour aller toucher les fibres nerveuses, où s'accomplit la sensation. Je n'entreprendrai point une description anatomique & complète de cet organe : c'est aux gens de l'art à entrer dans ce détail, qui seroit peut-être déplacé ici ; le Lecteur qui en jugera autrement, trouvera bon que je le renvoye aux ouvrages qui ont été faits exprès sur cette matière ;

* *Traité des Sens*, p. 275.
Traité de l'Oreille, de M. du Verney.

& nommément à celui de M. le Cat *, qui a comparé les desseins des plus grands Maîtres avec ses propres observations. Je me contenterai donc de nommer succinctement les principales parties que la nature emploie pour faire sentir les sons, & de les indiquer par des figures gravées d'après les meilleurs Anatomistes ; car mon

dessein se borne à faire comprendre seulement , par quelle mécanique nous entendons les sons.

A B, Fig. 16. représente la partie extérieure de l'oreille , dont le fond qui est vers *C* , s'appelle la *Conque*. *CD* est le conduit auditif vû extérieurement ; c'est un canal qui part de la *Conque*, & qui aboutit au *Timpan E* ; cette membrane mince qui se présente obliquement , n'est pas tout-à-fait plane , mais un peu concave du côté du conduit auditif ; immédiatement après , en avançant vers l'oreille interne , sont quatre osselets qu'on appelle , à cause de leur figure , l'*Os orbiculaire 1*, l'*Etrier 2*, l'*Enclumène 3*, & le *Marteau* : une partie de celui-ci que l'on a nommée le *Manche 4* , aboutit au centre du timpan, & sert à le tendre plus ou moins ; la première cavité qui est sous cette membrane , se nomme la *Caisse du Tambour* ; elle est pleine d'air , & communique avec la bouche par un canal *Ff* qui se nomme la *Trompe d'Eustache* ; de sorte que l'air du tambour communiquant toujours avec l'air extérieur , fait équilibre à celui qui remplit le conduit au-

XI.
LEÇON.

ditif ; à la caisse du tambour répond une autre partie de l'oreille , qu'on nomme *Labyrinthe*, composé du *vestibule* *G*, des trois canaux fémicirculaires *H*, *I*, *K*, & du *limaçon* *L*, que je vais décrire séparément.

Le limaçon est un cône un peu écrasé, *Fig. 17.* enveloppé d'un conduit qui, comme un pas de vis, fait à-peu-près deux spires & demie, *Fig. 18.*

Ce conduit qui va toujours en s'étrécissant, est divisé dans toute sa longueur par une cloison membraneuse dont les fibres tendent à l'axe du cône qui lui sert de noyau, *Fig. 19.* C'est cette partie qu'on nomme *Lame spirale*, & qui va toujours en s'étrécissant comme le conduit qu'elle partage, depuis la base du cône jusqu'à la pointe. Ainsi les fibres qui composent sa largeur, deviennent toujours de plus en plus courtes, en approchant du sommet du cône.

Le conduit spiral partagé en deux par la cloison dont je viens de parler, a nécessairement deux orifices *M*, *N*, dont un aboutit au vestibule du labyrinthe, & l'autre à la caisse du tambour.

Enfin

Enfin le nerf auditif O se divise en plusieurs branches qui passent dans le vestibule , & se subdivisent en une infinité de petites fibres qui se distribuent à toutes les parties du labyrinthe : voilà à-peu-près quelle est la structure de l'oreille ; en voici maintenant les fonctions.

XI.
LEÇON.

La conque , parce qu'elle est évasée presque en forme d'entonnoir , reçoit les rayons sonores en plus grande quantité , & leur action se transmet par le conduit auditif jusqu'à la membrane du tambour où se fait la première impression. Si cette membrane est lâche , les sons foibles s'y amortissent , & ne passent pas outre ; ou bien , s'ils passent , leur impression est si peu sensible , que l'ame n'y fait point attention. Voilà pourquoi , lorsque nous sommes occupés d'autres , il peut se faire auprès de nous des petits bruits ou des sons médiocres qui nous échappent. Mais si le timpan est bien tendu , (& c'est ce qui arrive quand on écoute ,) le moindre son se communique par cette membrane élastique à la masse d'air qui est dans la caisse du tambour ; &

450 LEÇONS DE PHYSIQUE.

XI.
LEÇON.

de cet air il passe à celui qui est dans le labyrinthe , dont toutes les parties sont revêtues des petites fibres du nerf auditif.

Un trop grand bruit fatigue l'oreille & va quelquefois jusqu'à rendre sourdes pour un temps , & même pour toujours , les personnes qui s'y sont exposées : c'est qu'une impression trop forte sur cet organe , comme sur les autres , engourdit les parties qui sont délicates , ou en dérange l'économie. Après un grand bruit , les sons faibles sont à l'oreille , ce qu'est à l'œil une petite lumière après une grande illumination.

Tout le monde fait , & les enfans mêmes n'ignorent pas qu'on entend le son bien plus fortement , quand on tient le corps sonore dans les dents , ou qu'on a la bouche ouverte dessus ; c'est qu'alors les vibrations se communiquent à l'air du tambour par la trompe d'Eustache ; & cette action , qui est comme immédiate , doit se faire sentir bien plus fortement que celle qui se transmet par le tympan : c'est un moyen de mieux entendre , que l'on voit assez souvent met-

tre en usage par les gens qui ont l'ouïe un peu dure; ils ouvrent la bouche quand ils écoutent avec beaucoup d'attention. (a).

Il suit de cette observation, que la membrane du tambour, ou le timpan, n'est point une partie essentiellement nécessaire pour la perception des sons, puisqu'ils pourroient se transmettre immédiatement à l'air qui est dans la caisse; & l'expérience a prouvé que cette conséquence est juste; car des chiens à qui l'on avoit ôté cette membrane, ne devinrent point sourds, aussi-tôt après cette opération *; mais l'expérience même a fait voir que sans cette espece de barriere, les autres parties ne peuvent se conserver long-temps, puisque ces animaux, quelques semaines après; n'entendoient plus, comme auparavant, la voix de ceux qui les appelloient.

*Villis; de
 l'ame des Bê-
 tes, c. 14.

(a) Ce que j'ai dit dans cet article, je l'ai dit d'après le plus grand nombre des Physiciens qui ont écrit sur cette matiere; néanmoins il me paroît maintenant que, pour entendre par la bouche, il ne suffit pas de l'ouvrir sur le corps sonore, mais qu'il faut appuyer les dents dessus ou au moins les lèvres.

452 LEÇONS DE PHYSIQUE

On est parfaitement d'accord sur l'existence du timpan , sur la place qu'il occupe , & même sur ses fonctions ; mais on ne l'est pas de même , quand il s'agit de savoir , si cette espece de diaphragme ferme absolument le conduit auditif , ou s'il peut s'ouvrir sans sortir de son état naturel ; les uns * tiennent pour cette dernière opinion & citent l'expérience de certaines gens qui font sortir par leurs oreilles la fumée du tabac qu'ils ont retenue dans leur bouche ; les autres soutiennent le contraire , & s'appuyent sur l'expérience d'un habile Anatomiste * , qui ayant rempli de mercure l'oreille d'un sujet mort , ne put jamais faire passer ce minéral de la caisse du tambour dans le conduit auditif. L'expérience des fumeurs doit-elle être regardée comme un effet contre nature , auquel cas elle ne prouveroit rien ? ou bien la mort donne-t-elle au timpan une adhérence invincible qu'il n'auroit pas dans le sujet vivant , ce qui rendroit l'expérience faite avec le mercure aussi peu concluante ? Tout l'embarras de cette décision cesse , quand on fait

* Dionis ,
demonst. anat.
tom. 8.

* Valsave ,
de aures hu-
mana , c. 2.
§, 8.

que la fumée ne passe point, comme on le dit, par l'oreille; & que ce prétendu fait n'est au fond qu'une supercherie, par laquelle certaines gens en imposent à ceux qui sont assez crédules pour se rendre aux premières apparences, ou trop peu instruits pour les approfondir, comme je l'ai appris d'un de nos Anatomistes * dont les lumieres & la candeur sont très-connues, & qui m'a dit s'en être assuré par l'aveu même de plusieurs soldats des Invalides qui s'étoient vantés de rendre la fumée par les oreilles.

Comme la propagation des sons se fait selon les mêmes loix que celles de la lumiere, on peut rassembler les rayons sonores, & les condenser comme ceux qui viennent d'un objet lumineux. Que l'on fasse donc un cornet de figure parabolique, *Fig. 20.* au fond duquel aboutisse un petit canal, dont on placera le bout dans la conque de l'oreille; alors tous les rayons parallèles, comme *a b, c d*, seront rassemblés en *f*, foyer de la parabole, & augmenteront considérablement la force du son dans le conduit auditif.

Mais comme ces instrumens acous-

XI.
LEÇON.

* M. Morand de l'Ac. des Scienc. & chargé par la Comp. de vérifier le fait.

454 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI. LEÇON.

tiques ne doivent avoir d'autre effet que de renvoyer le son à l'oreille de celui qui s'en sert, il faut empêcher qu'ils ne le transmettent autour d'eux comme le porte-voix ; c'est pourquoi je voudrois qu'on les fit de métal bien poli, afin que par leur dureté & par la régularité de leur surface, la réflexion des rayons fût plus complète, mais qu'on amortît leur ressort, en les couvrant par-dehors avec une peau de chagrin, ou avec quelque chose d'équivalent.

* *Traité des
sens, p. 292.*

M. Le Cat *, frappé de ce que la nature a pratiqué dans l'organe de l'ouïe plusieurs cavités remplies d'air, a imaginé, pour aider les personnes qui ont de la peine à entendre, un double cornet qui est représenté par la *Fig. 21*, & dont l'ouverture *CD* peut avoir 2 pouces $\frac{1}{2}$ ou trois pouces de diamètre. Dans l'opinion où je suis que l'augmentation du son, par ces fortes d'instrumens, vient autant de l'immobilité de l'air, que d'une réflexion bien ménagée des rayons sonores, je penserois volontiers qu'on pourroit tirer avantage de cette nouvelle invention qui n'a point encore été éprouvée.

*Des sons comparés.*XI.
LEÇON.

CE que j'ai dit précédemment touchant la nature du son en général , doit faire comprendre que les corps sonores sont capables d'exciter en nous différentes sensations ; non-seulement parce qu'étant plus denses ou plus élastiques les uns que les autres , ils peuvent agir plus puissamment ou plus long-temps ; mais encore , parce que leur ressort étant plus ou moins tendu , doit être susceptible de vibrations plus ou moins fréquentes : & en effet , tout le monde s'apperçoit que le son d'une cloche & celui d'une sonnette , différent beaucoup entr'eux : & pour le peu qu'on y fasse attention , on reconnoît aisément qu'il y a dans cette différence quelque chose de plus que le degré de force ; car quand on seroit fort près de la sonnette , & très-éloigné de la cloche , l'organe seroit encore affecté d'une manière bien différente par ces deux sons. Il en est de même d'une corde quand on prendroit soin de la pincer toujours également fort ,

 XI.
LEÇON.

si elle est plus ou moins tendue , le son change , & l'on n'apperçoit d'autre cause de cet effet , qu'une roideur plus ou moins grande dans les parties , d'où il doit résulter un frémissement plus ou moins prompt.

Ce sont ces différentes nuances de son , qui procèdent de la fréquence plus ou moins grande des vibrations dans les parties du corps sonore , que l'on appelle *Tons* , & dont la combinaison harmonieuse fait l'objet de la musique , de cet art merveilleux qui a tant de pouvoir sur l'ame & dont tant de personnes sont occupées aujourd'hui , soit par goût , soit par profession.

On distingue tous les tons en *graves* & en *aigus* : on appelle grave celui d'un corps sonore , dont les parties frémissent beaucoup plus lentement que celles d'un autre à qui on les compare , ou (ce qui est la même chose ,) qui , dans un certain temps , fait bien moins de vibrations que lui. On voit par cette définition , que le ton n'est grave ou aigu que par comparaison à un autre ton ; & que l'une ou l'autre de ces deux qualités peut varier autant

tant qu'il peut y avoir de différences entre les nombres de vibrations que les corps sonores peuvent faire dans un temps donné.

XI.
LEÇON.

Mais quoique les tons puissent varier presque à l'infini, eu égard à la comparaison des nombres, leurs différences se renferment dans des bornes beaucoup plus étroites, si l'on s'en tient au sensible; car l'oreille la plus délicate ne distingue ces nuances, que quand il y a un intervalle assez considérable entre les nombres qui les produisent. Par exemple, si l'on tend une corde de clavecin, de manière qu'elle fasse 200 vibrations dans une seconde, elle aura un certain ton; si elle se trouve ensuite un peu plus tendue, & que dans un pareil temps elle fasse 201, 202, ou 203 vibrations, elle aura sûrement un ton plus aigu physiquement, mais non pas sensiblement, parce que le nombre des vibrations qu'elle fait en dernier lieu, n'est point assez différent du nombre de celles qu'elle fait d'abord.

Lors donc que l'on touche deux corps sonores ensemble, comme deux cordes de clavecin ou de vielle,

 XI.
LEÇON.

leurs vibrations ont nécessairement un certain rapport de nombres entr'elles, de sorte qu'après un certain période, les deux cordes recommencent en même-temps; & c'est cette espece de réunion périodique, que l'on nomme *accord* ou *consonance*.

Les accords sont d'autant plus parfaits, que les vibrations rentrent ou se réunissent plus souvent, ou que leurs nombres, pour chaque temps, différent moins entr'eux. On appelle *unisson*, l'accord de deux cordes dont les vibrations se font une pour une; celle des deux qui fait deux vibrations contre une, donne l'*octave* au-dessus; si elle en fait trois contre deux, elle donne la *quinte*; quatre contre trois, la *quarte*; cinq contre quatre, la *tierce majeure*; six contre cinq, la *tierce mineure*.

Mais, comme on voit, tous ces accords d'une corde avec l'autre, n'ont rien d'absolu; le ton que je nomme octave, quinte, &c. deviendroit tout d'un coup toute autre chose, si je changeois le ton de l'autre corde, qui me sert d'objet de comparaison. Il en est de même du son

que je nomme grave ou aigu ; il change de dénomination sans changer de nature , toutes les fois que le son auquel je le compare vient à changer.

XI.
LEÇON.

C'est un inconvénient considérable en musique de n'avoir pas un ton fixe & invariable , que l'on puisse toujours retrouver , & auquel on rapporteroit tous les autres. Cette espece de sifflet dont on se sert pour déterminer le ton des voix & des instrumens dans un concert , ou ces flûtes que l'on dit être au ton de l'Opéra , ne sont point des moyens sûrs pour éviter toute variation : l'expérience fait voir que tous les instrumens de cette espece , comme les autres , ne gardent pas constamment leur état ; mais quand ils pourroient le garder , s'ils viennent à se perdre ou à se casser , comment retrouver le véritable ton ?

De tous les Physiciens , qui se sont proposés de procurer à la musique ce ton fixe tant désiré , personne que je sache n'a travaillé avec plus de zèle & plus de succès que M. Sauveur ; quoiqu'à dire vrai , les moyens qu'il a imaginés , ne me paroissent point encore marqués au coin de cette sim-

Q q ij

 XI.

LEÇON.

* Hist. de
l'Acad. des
Scienc. 1700.
P. 134.

plicité qui annonce une invention de pratique. C'est dans ses propres écrits ou dans les extraits qu'on en a faits *, qu'il faut voir quelles ont été ses recherches à ce sujet, & jusqu'à quel point il a réussi. Je me contenterai de dire ici que cet ingénieux & savant Académicien, pour déterminer & fixer un son au-dessous duquel on prit la suite des tons graves, & au-dessus, celle des tons aigus, mit à profit une remarque qu'il fit, & qu'une oreille un peu attentive peut faire, en entendant accorder deux tuyaux d'orgues. La rentrée ou la réunion de leurs vibrations se fait sentir par un son plus fort; & le temps qui se passe d'une réunion à l'autre est quelquefois assez sensible pour être mesuré. On fait, par la nature des accords, combien il faut qu'un des deux tuyaux fasse de vibrations dans le même temps que l'autre en fait un certain nombre; que de deux tuyaux accordés à l'octave, par exemple, l'un fait deux vibrations pendant que l'autre en fait une seulement. Si l'intervalle d'une rentrée à l'autre étoit assez sensible, on pourroit donc savoir combien de temps

employent celui-ci pour faire deux , celui-là pour faire une vibration. Ainsi le temps pendant lequel se font les vibrations d'un certain ton étant déterminé par l'expérience , & le nombre des vibrations qui font les autres tons pendant le même temps , étant connu d'ailleurs , M. Sauveur prend pour le son fixe , celui qui fait 100 vibrations en une seconde ; & il appelle *octave-fixe-aiguë* , celle qui est au-dessus , c'est-à-dire , le son qui fait 200 vibrations en une seconde ; & *octave-fixe-grave* , celle qui est au-dessous , ou le son qui fait 50 vibrations en une seconde.

M. Sauveur ayant trouvé par expérience , qu'un tuyau d'orgues d'environ 5 pieds ouvert , rendoit ce son fixe dont je viens de parler , comparera cette longueur à celles de deux autres tuyaux dont l'un rendoit le son le plus grave , & l'autre le son le plus aigu que l'oreille humaine pût distinguer ; & ayant examiné , par la comparaison de leurs dimensions , combien chacun pouvoit faire de vibrations dans le temps d'une seconde , il trouva que le son le plus grave que nous puissions distinguer vient d'un

462 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
LEÇON.

corps sonore qui fait 12 vibrations $\frac{1}{2}$ par seconde, & que le son le plus aigu fait en pareil temps 6400 vibrations; & comme $12 \frac{1}{2}$ est à 6400 à-peu-près dans le rapport de 1 à 512, on peut conclure que l'oreille est susceptible de 512 degrés de sensations.

Si l'on a une fois un ton fixe par le moyen des tuyaux d'orgues, on peut l'avoir pour toutes sortes d'instrumens; car une corde de viole, une flûte, un haut-bois, &c. peut se mettre à l'unisson avec le tuyau qui donnera le ton fixe.

La grandeur des vibrations ne fait rien au ton: quand le corps sonore vient d'être touché, elles sont d'abord plus étendues, & le son en est plus fort; mais quoiqu'ensuite elles deviennent plus petites, & que le son s'affoiblisse en conséquence, le ton subsiste le même jusqu'à la fin, parce que les vibrations, quoique moins grandes à la fin qu'au commencement, sont toujours de la même durée: c'est la propriété des corps à ressort. Ceci ne doit pourtant s'entendre que du son principal, de celui que toute oreille entend, dès que

le corps sonore a été frappé; car lorsqu'on y fait plus d'attention, & à mesure que le son principal s'affoiblit, on distingue assez souvent d'autres tons, dont nous essayerons de rendre raison ci-après.

Une corde fait des vibrations d'autant plus fréquentes, & par conséquent rend un son d'autant plus aigu, qu'elle est plus courte, ou moins grosse, ou plus tendue. Si l'on veut donc en accorder deux qui soient de même matière, il faut avoir égard à ces trois choses, à leurs longueurs, à leurs grosseurs, & à leurs degrés de tension.

1°. Si deux cordes également longues & grosses ne diffèrent que par le degré de tension, leurs vibrations, quant au nombre, sont comme les racines quarrées des puissances ou des forces qui les tiennent tendues;

C'est-à-dire, que si elles étoient tirées par des poids, & que l'une des deux le fût par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres: comme la racine quarrée de 4 est 2, & que celle d'1 est 1; les vibrations de ces deux cordes, quant au nombre, seroient dans le rapport de 2 à 1: &

XI.
LEÇON.

suivant le même principe, les vibrations seroient dans le rapport de 3 à 2, si les poids qui tendent les cordes étoient, l'un de 9, & l'autre de 4 livres: parce que la racine quarrée de 9 est 3, & que celle de 4 est 2.

2°. Si les cordes également grosses, également tendues, ne diffèrent qu'en longueur, le nombre de leurs vibrations en temps égaux, est en raison inverse de leur longueur;

C'est-à-dire, que celle qui est une fois plus courte, fait une fois plus de vibrations que l'autre, & que celle qui est comme 2 à 3 par rapport à l'autre, fait 3 vibrations contre 2, &c.

3°. Si les cordes ne diffèrent qu'en grosseur, elles font des vibrations dont les nombres sont en raison réciproque des diamètres; (a)

C'est-à-dire, que si l'une des deux est une fois plus grosse, elle fait une fois moins de vibrations que l'autre, dans un temps donné. Si les diamètres sont entr'eux comme 3 & 2, la plus grosse

(a) Ceci ne doit s'entendre que des effets sensibles, & non pas selon la rigueur mathématique; voyez-en les raisons, *Mém. de l'Ac. des Sc.* 1709. p. 47 & suiv.

EXPERIMENTALE. 465
des deux ne fait que 2 vibrations contre 3, &c.

XI.
LEÇON.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA Fig. 22. représente un instrument qu'on peut nommer *Sonometre*, parce qu'il sert à mesurer & à comparer les sons. C'est une caisse longue montée sur un pied qui est composé de deux montans & d'une traverse; la table qui est de sapin peut avoir trois pieds de longueur sur 4 pouces de largeur; & elle est percée de trois rosettes à-peu-près semblables à celle d'une guitare ou d'un tambourin. A l'une des deux extrémités sont deux leviers angulaires, qui ressemblent à ceux dont on se sert pour les sonnettes dans les appartemens, & dont les bras forment un angle droit. Aux bras de ces leviers sont attachés d'une part deux poids *A, B*, que l'on peut changer; & de l'autre, deux cordes de violon que l'on tend avec les chevilles, *C, D*, qui sont à l'autre bout de la caisse. Ces deux cordes passent sur deux chevalets fixes *E, F*, qu'elles

 XI.
LEÇON.

touchent à peine, & sur lesquels lorsqu'elles sont tendues, on les arrête, par le moyen d'une vis qui pousse dessus une petite pièce de bois. Il y a encore un autre chevalet G, qui glisse dans une coulisse d'un bout à l'autre de la caisse, dont le bord est divisé en pouces & en lignes; de sorte qu'en appuyant un peu le bout du doigt sur une des deux cordes, on peut la mettre en tel rapport de longueur que l'on veut avec l'autre, sans changer sensiblement son degré de tension. Quand on veut rendre les cordes dans des proportions connues, on attache des poids dont on fait la valeur, en A & en B, & l'on tourne les chevilles C, D, jusqu'à ce que les bras des leviers fassent des angles droits, tant avec les cordes sonores, qu'avec celles qui suspendent les poids.

E F F E T S.

1°. Les deux cordes étant de même grosseur, & tendues avec des poids semblables, donnent l'unisson lorsqu'elles sont également longues; l'octave, quand l'une des deux est moitié plus courte que l'autre; la

quinte, quand elles sont l'une d'un tiers plus courte que l'autre.

2°. Les deux cordes étant de la même longueur & de la même grosseur, s'accordent à l'octave, quand l'une est tendue par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres : elles s'accordent à la quinte, quand les deux poids qui les tiennent tendues, sont l'un de 4 & l'autre de 9 livres.

3°. Les deux cordes étant également longues, & tendues par des poids égaux, sont d'accord à l'octave, quand l'une est une fois plus grosse que l'autre ; à la quinte, quand le diamètre de l'une est à celui de l'autre comme 3 à 2.

EXPLICATIONS.

On fait par tout ce qui a été dit précédemment, que les tons dépendent d'un certain nombre de vibrations que fait le corps sonore, dans un temps déterminé ; & que les accords ne sont autre chose que les différens rapports de ces nombres entr'eux. Ainsi, puisque je sais que l'octave doit s'entendre, toutes les

XI.
LEÇON.

fois qu'il y a deux vibrations contre une; la quinte, quand il y en a 3 contre 2, &c. je puis donc, en toute sûreté, conclure ces rapports de nombres, par les accords que j'entends; ainsi quand les deux cordes de mon sonometre sont à l'unisson, quelle que puisse être alors la longueur, grosseur, ou tension de chacune, il est certain que leurs vibrations sont isochrones; c'est-à-dire, qu'elles en font une pour une, ou un même nombre en même temps: & de même, quand elles sont d'accord à l'octave, ou à la quinte, &c. je puis dire: c'est que les vibrations qu'elles font dans un temps donné, sont dans le rapport de 1 à 2, de 3 à 2, &c.

Or, on a vû, par les résultats précédens, qu'en réglant la longueur, la grosseur, & le degré de tension des cordes, comme nous avons dit *
 * P. 463.
 464. qu'il falloit faire, pour avoir certains rapports dans les nombres des vibrations, il en résulte des accords qui dépendent essentiellement de ces proportions, & qui ne vont point sans elles. Il est donc évidemment prouvé par notre expérience, que les vibra-

tions sont, comme nous l'avons dit, d'autant plus promptes que la corde sonore est plus courte, plus menue ou plus tendue, & que leur fréquence suit les rapports que nous avons établis.

XI.
LEÇON.

Ce que dit l'expérience à cet égard se trouve parfaitement d'accord avec le raisonnement. Car puisque tous les corps à ressort ont des vibrations d'autant plus promptes, que leurs parties sont plus roides, une corde qui est plus tendue, & dont les parties sont plus tirées, doit faire des vibrations plus promptes, & rendre par conséquent un son plus aigu : & au contraire, celle qui l'est moins, & dont les parties sont plus lâches, doit avoir des vibrations moins fréquentes, ce qui lui donne un son plus grave. Or une corde est moins tendue qu'une autre, quoiqu'elle soit tirée par un même degré de force, si elle est plus longue ou plus grosse, parce qu'alors cette force qui la tend agit sur un plus grand nombre de parties, qui partagent son effort ; & par conséquent chacune d'elles, considérée comme un petit ressort se trouve moins tendue

qu'elle ne le feroit, si elle faisoit partie d'une corde, ou plus fine ou plus courte.

APPLICATIONS.

L'EXPÉRIENCE précédente nous apprend pourquoi dans tous les instrumens de musique, la partie sonore, c'est-à-dire, celle qu'on touche pour exciter les sons, est toujours disposée de manière qu'on en peut changer facilement ou les dimensions, ou le degré de tension. Car c'est par ces deux moyens qu'ils sont propres à exprimer la composition du Musicien. Les chanterelles d'une vielle, par exemple, montées à l'unisson, figurent les airs, parce que les touches que l'on pousse les accourcissent plus ou moins pour former les tons. Au violon, ce sont les doigts qui font l'office de touches en ferrant les cordes sur les divisions du manche. Au clavecin, où chaque corde est fixée à un seul ton, l'étendue du jeu vient d'un plus grand nombre de cordes, & de leurs différentes longueurs & grosseurs.

Dans un instrument à vent, c'est

encore en changeant les dimensions du corps sonore, que l'on acquiert une suite de tons plus graves ou plus aigus les uns que les autres. Une flûte ou un flageolet contient une colonne d'air, qui est, à proprement parler, la partie sonore de cet instrument, comme je l'ai déjà dit ci-dessus. Mais cette colonne d'air change en quelque façon de longueur, selon le nombre des trous que l'on débouche ou que l'on tient fermés : puisque chacun de ces trous faisant communiquer l'air extérieur avec celui du tuyau, empêche que ce dernier ne reçoive dans toute son étendue, ou d'une manière complète, les vibrations qui viennent de l'embouchure. *

XI.

LEÇON.

L'organe de la voix pourroit être comparé aux instrumens à vent, pourvu néanmoins qu'on n'y cherchât point une similitude fort exacte ; car nous ne voyons pas que l'art en ait encore produit aucun qui imite d'assez près la nature. La *trachée-artère* *Gg*, *Hh*, *Fig. 23.* ce canal par où l'air qu'on respire entre dans les poulmons, est terminé vers la bouche par une petite fente ovale *k*, qu'on

* Voyez l'explication de M. Euler. Tent. novum theoriae musicae.

XI.
LEÇON.

nomme *la Glotte*. La ressemblance qu'elle a avec une flûte, avoit fait croire anciennement, que la voix se formoit dans cette partie comme le son dans ces sortes d'instrumens. Mais M. Dodard considérant que le son d'une flûte est excité par l'air qui entre dans le tuyau, au lieu que la voix l'est communément par celui qui sort de la trachée, se détermina à croire, avec toute sorte de vraisemblance, que la glotte est l'organe principal, & que le canal qu'elle termine ne fait que l'office de porte-vent.

* Mém. de
l'Acad. des
Sc. 1700.
p. 244.

Selon le système de cet habile Physicien *, l'air sortant avec plus ou moins de vitesse par la glotte, qui a pour cet effet la faculté de se dilater & de se rétrécir, forme des sons plus ou moins graves. Le son formé de cette manière va retentir dans la cavité de la bouche, & dans celle des narines; & en sortant il s'articule par le mouvement de la langue & des lèvres. Ainsi la trachée fournit l'air, la glotte forme la voix, & en règle le ton, la langue & les lèvres en font des paroles.

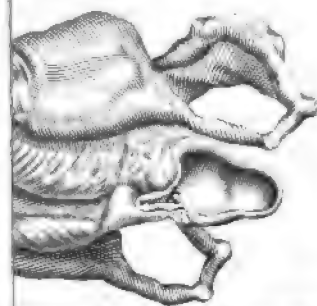
Voilà, dit-on, comme les choses se

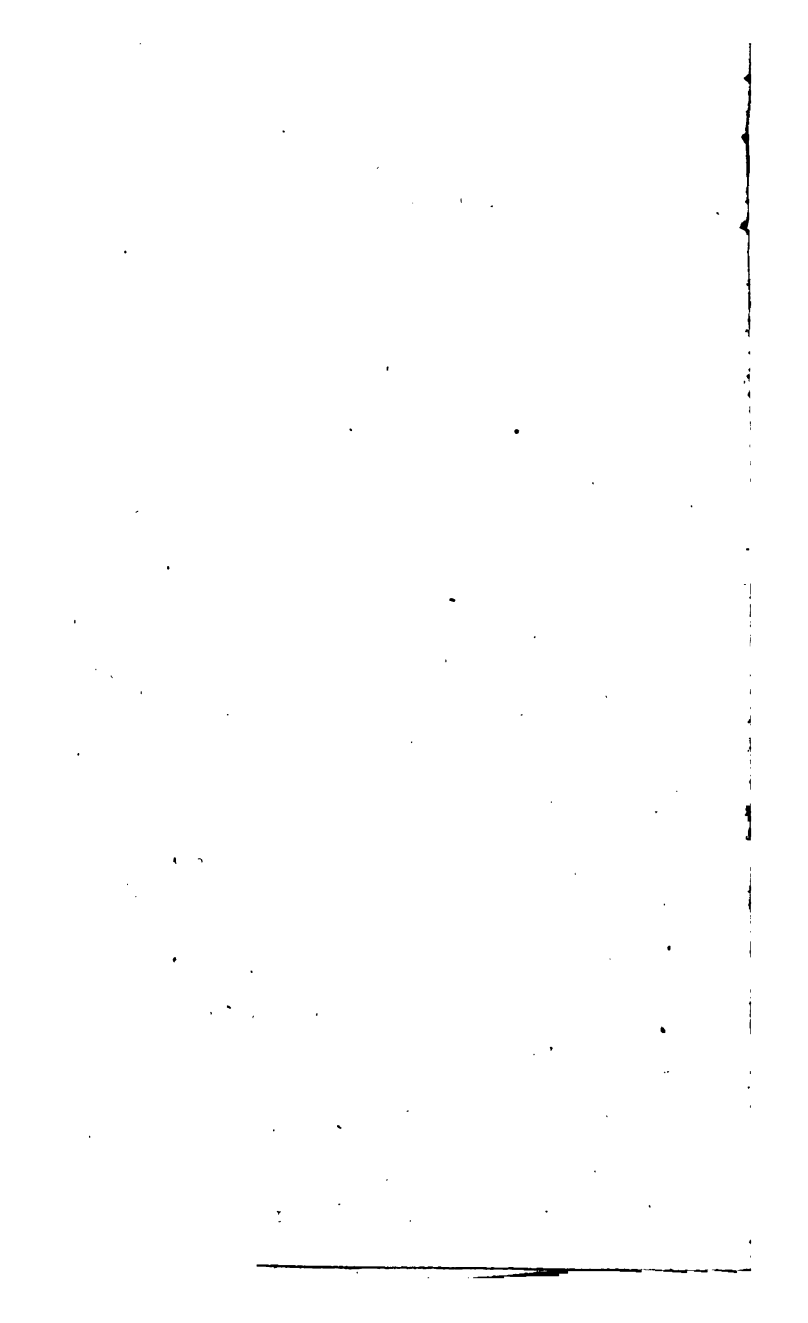
Fig. 19.



O

Fig. 17.





Ils passent pour l'ordinaire : mais on peut cependant parler & chanter en aspirant ; & il y a des gens qui, par habitude, ou par une certaine disposition d'organes, font entendre une voix sourde & étouffée qui se forme par l'air qui entre dans la trachée : on les appelle *Ventriloques* ; c'est-à-dire, qui parlent du ventre. On les regardoit autrefois comme magiciens & comme possédés du démon ; il se trouve même de bons auteurs * à qui il paroît que cette façon de parler en a imposé aussi-bien qu'au peuple.

XI.
LEÇON.

* Lirani, in
c. 18. Deut.
Casseri, de
vocis organo

Si l'on doit attribuer les différens tons de la voix ou du chant aux différentes ouvertures de la glotte, il faut que son petit diamètre qui n'a au plus qu'une ligne, puisse changer 9632 fois de longueur, selon le calcul de M. Dodard, pour fournir à toutes les différentes nuances de tons dont la voix humaine est susceptible. Une telle division peut-elle avoir lieu dans une si petite étendue ? c'est ce qu'on a peine à concevoir. La glotte feroit-elle donc l'office d'une anche de haut-bois ou de musette, qui, comme l'on fait, n'est chargée que

474 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
LEÇON.

de produire le son, & non pas les tons ; & le canal de la bouche qui s'allonge, se rétrécit, & se dilate suivant la qualité des tons, feroit-il celui d'un chalumeau qui contient plus ou moins d'air, & qui devient capable par-là d'un son plus ou moins grave ? ou bien ces deux parties concourent-elles ensemble à la formation des tons, l'une comme une anche qui deviendrait plus ou moins grande, plus ou moins élastique, l'autre comme un tuyau qui changeroit de dimension ?

M. Ferrein, Médecin, a répandu un grand jour sur cette question, en prouvant, par des expériences aussi décisives qu'elles sont ingénieuses & délicates, que les deux lèvres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre à la manière d'une anche ; mais que chacune d'elles frottée par l'air qui vient des poulmons, résonne comme une corde sur laquelle on traîne un archet. Ses observations lui ont fait connoître, que les bords de ces deux lèvres sont des cordons tendineux attachés de part & d'autre à des cartilages qui servent à les tendre

plus ou moins : il trouve dans ces différens degrés de tension dont ces parties sont susceptibles , une explication naturelle de tous les tons dont la voix humaine est capable ; car on fait en général , qu'une corde plus ou moins tendue rend un son plus ou moins aigu.

Mais comment M. Ferrein a-t-il pu savoir que les deux lèvres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre ; que le seul rétrécissement de cette partie ne suffit pas pour faire monter la voix des tons graves aux tons aigus ; & que l'air lancé des poulmons par la trachée-artère donne un mouvement de vibrations à ces cordons tendineux , qu'il a nommés pour cela *Cordes vocales* ? Ne faudroit-il pas avoir vû l'action même de ces parties pour juger de la maniere dont elle se fait ? Et comment porter la vûe sur un mécanisme que la nature n'a point mis à la portée de nos yeux ?

L'ingénieux auteur de ces découvertes , ne pouvant point tenter ces expériences sur des sujets vivans , imagina de rendre la voix aux morts. Il adapta un soufflet à des trachées

476 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
LEÇON.

toutes fraîches ; l'air qu'il fit passer avec précipitation par la glotte rendit des sons , & ses conjectures devinrent des connoissances. *Voyez les Mém. de l'Académ. des Sc. année 1741. p. 409.*

Quand une fois la voix est formée, & que son ton est réglé , il faut , pour être agréable , qu'elle sorte & par la bouche & par le nez ; elle est tout-à-fait différente de ce qu'elle a coutume d'être , lorsqu'elle ne résonne que dans l'une de ces deux cavités ; on n'aime point à entendre quelqu'un qui parle ou qui chante ayant les narines bouchées : on dit communément qu'il parle du nez ; expression tout-à-fait impropre , comme on voit , puisque c'est justement quand on n'en parle point, qu'on s'attire ce reproche.

On conçoit , sans aucune difficulté , comment deux corps sonores exécutent séparément leurs vibrations , comment l'un des deux , par exemple , en acheve 4 pendant que l'autre n'en fait que deux ou trois , parce que la fréquence de ces vibrations dépend d'un certain degré de ressort que chacun possède séparément. Mais com-

ment est-ce que deux tons différens subsistent en même-temps dans le même air, si les tons ne sont dans l'air, que ce qu'ils sont dans le corps sonore, une fréquence déterminée de vibrations ? Comment la même masse d'air peut-elle rendre distinctement & en même-temps les sons de deux cordes qui sont à l'octave l'une de l'autre, si celle-ci exige 100 vibrations, & celle-là 200 par seconde ?

Cen'est encore là que la moitié de la difficulté ; car quand bien même ces deux mouvemens pourroient se communiquer & se conserver sans confusion dans le même air, il reste encore à savoir par quel moyen l'organe qui reçoit en même-temps les deux impressions, n'éprouve point une sensation mixte ou composée de l'une & de l'autre, comme l'œil voit du verd, quand il est frappé en même-temps par deux rayons, dont l'un est jaune & l'autre bleu.

On ne s'est jamais trop mis en peine de répondre à la dernière de ces deux questions : quant à la première, on a prétendu le faire, en comparant le mouvement de l'air qui transmet

XI.
LEÇON.

les sons aux ondulations circulaires qu'on fait naître dans une eau tranquille, lorsqu'on y jette des pierres. Car de même, dit-on, que ces ondulations s'entre-coupent sans se confondre, & s'étendent séparément jusqu'au bord du bassin, de la même manière aussi l'air se charge de différens tons ensemble, & les transmet sans confusion jusqu'à l'oreille.

Mais, outre que ce n'est point expliquer un phénomène que de le comparer à un autre; cette comparaison même est défectueuse, & l'on voit évanouir presque toute similitude, quand on fait attention à la nature des mouvemens de part & d'autre.

Lorsqu'une pierre tombe dans l'eau, elle abaisse la partie du fluide qui se trouve sous elle, & en même-temps elle élève les parties voisines; chacune de ces parties soulevées retombe avec accélération plus bas que son niveau, & fait monter celle qui est immédiatement après, ce qui continue jusqu'à ce que tout ait repris son équilibre. Ces balancemens se faisant dans une infinité de rayons qui partent d'un centre commun, représen-

EXPERIMENTALE. 479
tent à l'œil ces ondulations circulaires dont il s'agit, qui se ralentissent à mesure qu'elles s'étendent, & qui deviennent d'autant plus lentes qu'elles sont plus foibles, soit par la cause qui les a fait naître, soit par le trajet qu'elles ont déjà fait. Mais le mouvement du son dans l'air est toute autre chose; ce sont les vibrations d'un fluide élastique qui se transmettent avec une vitesse uniforme, & qui ne deviennent ni plus promptes ni plus lentes, quand leur grandeur vient à varier.

D'ailleurs quand les ondulations de l'eau s'entrecoupent, on ne peut nier qu'à l'endroit du choc, le mouvement ne se compose des masses & des vitesses des parties qui se rencontrent, & qu'un corps placé à cette intersection ne dût recevoir le mouvement composé. Il n'en est pas de même de deux sons qui agissent sur le même organe; chacun fait son impression comme s'il étoit seul, & l'oreille les distingue par deux sensations différentes, quoique simultanées. Ainsi la comparaison des ondes n'explique rien, & laisse subsister

XI.
LEÇON.

en leur entier , les deux difficultés que j'ai exposées.

XI.

LEÇON.

M. de Mairan , après avoir donné des preuves évidentes de cette disparité , propose sur la propagation des sons un système si ample , mais en même-temps si heureusement imaginé , qu'on oublie bien-tôt que c'est une hypothèse , quand on l'applique aux phénomènes ; il a cela de commun avec celui des couleurs , comme son auteur ressemble à Newton par bien des endroits.

S'il étoit question de décider , si les molécules qui composent la masse de l'air sont toutes égales entr'elles , ou s'il y en a de plus petites les unes que les autres à toutes sortes de degrés , & qu'il fallût adopter l'une de ces deux suppositions , quel parti faudroit-il prendre ? Lequel des deux paroîtroit le plus vraisemblable ? Comme ces molécules sont des assemblages fortuits des parties plus subtiles , qui se joignent & se désunissent par mille causes différentes , ne seroit-on pas porté à croire qu'elles diffèrent de grandeur à l'infini , plutôt que de supposer gratuitement , qu'elles se ressemblent

ressembler toutes parfaitement ?

Cette pensée sur laquelle est fondé tout le système de M. de Mairan, est la seule qui ne soit que vraisemblable; toutes les autres sont des conséquences si nécessaires de ce principe, (si une fois on l'admet,) qu'on ne peut point s'y refuser.

Si les molécules de l'air sont de différentes grandeurs, elles doivent différer aussi par leurs degrés de ressort, comme une même lame d'acier feroit des ressorts plus roides les uns que les autres, si elle étoit divisée en portions inégales. Par-tout où l'on place un corps sonore, il doit donc trouver dans la masse commune, des particules d'air dont le ressort est analogue au sien, & capables par conséquent de recevoir, de conserver, & de transmettre ses vibrations. Ainsi deux cordes de différens tons se font entendre par la même masse d'air, mais par différentes parties de cette masse. Suivant cette explication, on conçoit facilement comment les tons ne se confondent point dans le fluide qui les transmet; car de cette manière, ce fluide, eû égard à ses différentes parties, peut

XI.

LEÇON.

~~se prêter à des vibrations plus fréquen-~~
 tes les unes que les autres.

XI.

LEÇON.

Quant à l'impression des sons sur l'organe, il faut se souvenir que la lame spirale, qu'on doit regarder comme la partie principale, est un assemblage de fibres qui vont toujours en diminuant de longueur, depuis la base jusqu'à la pointe du limaçon, à-peu-près comme les cordes d'un psaltérion ou d'un clavecin ; chacune a une élasticité proportionnelle à sa longueur, ce qui la rend propre à être ébranlée par des vibrations d'une certaine fréquence seulement. Ainsi, quand deux tons parviennent à l'organe en même-temps, chacun d'eux fait son impression sur la fibre dont le ressort est analogue à la fréquence de ses vibrations ; & ces deux sensations séparées font naître deux idées distinctes : en un mot, il arrive aux fibres de la lame spirale ce qu'on remarque aux cordes d'un clavecin, ou à tout autre corps sonore dont on prend le ton ; si l'on touche une corde, on fait résonner celle qui est à l'unisson, non-seulement sur le même instrument, mais même sur un autre qui

seroit placé à côté ; si l'on parle à voix haute dans un magasin de verres , dans une boutique de Chaudronnier , dans une office où il y a beaucoup de vaisselle creuse, on entend toujours résonner quelque piece , tandis que les autres restent en silence ; & si l'on change de ton , c'est une autre piece qui répond.

Mais, dira-t-on , comment se peut-il faire qu'une corde que l'on met en jeu, choisisse précisément les molécules d'air qui lui conviennent : & que l'air intérieur de l'oreille , qui reçoit son mouvement à travers la membrane du tambour , attaque avec un pareil choix les fibres qui ne sont propres à sentir qu'un certain son ?

Cette corde ne choisit point en effet , & l'air de l'oreille frappe indifféremment toute la lame spiral ; mais les effets sont les mêmes que s'il y avoit du choix : car quoique plusieurs corps qui ont différens degrés de ressort , commencent leurs vibrations en même-temps, si la cause qui les entretient est fixée à un certain degré de fréquence , ces vibrations ne peuvent continuer que dans ceux dont

S f ij

XI.
LEÇON.

le ressort est analogue à cette fréquence ; car ceux qui seroient de nature à faire , par exemple , une vibration & demie contre une , ne se trouveroient point à temps comme les autres , pour recevoir la seconde impulsion ; & leur mouvement devroit se rallentir ou cesser. Le corps sonore agit donc d'abord sur toutes les molécules d'air qui l'entourent ; mais il ne continue efficacement son action que sur celles qui sont propres à se mouvoir précisément comme lui. C'est la même chose pour les fibres de la lame spirale : & comme nos sensations ne s'accomplissent que par un ébranlement d'une certaine durée , la première secousse qui attaque toute la partie indistinctement , est déjà passée , lorsque l'ame s'apperçoit de l'impression qui continue , sur les fibres qui sont propres à cette espèce de mouvement.

Il ne faut pas croire cependant ; qu'une corde que l'on pince , ne mette & n'entretienne absolument en jeu que les particules d'air qui ont une analogie précise avec son ressort , elle agit aussi sur celles qui sont *harmo-*

niques ; c'est-à-dire , dont les vibrations recommencent avec les siennes après un certain nombre , & elle agit plus fortement sur celles qui sont plus harmoniques ou plus prochainement rentrantes. La même corde fait donc résonner d'abord & beaucoup plus fortement que les autres , les particules d'air qui sont propres à faire autant de vibrations qu'elle , & c'est ce qui fait le ton principal ; ensuite , & avec moins de force , celles qui ne font qu'une vibration contre deux ; après ces dernières , & encore plus faiblement , celles qui ne font que deux vibrations contre trois , &c. de sorte qu'on peut dire qu'un seul & même corps sonore fait toujours un petit concert : à la vérité , ces sons harmoniques sont couverts par le son principal ; mais quand celui-ci vient à s'affoiblir , une oreille un peu délicate n'a pas de peine à les distinguer.

On pourroit demander ici, 1^{ment} , pourquoi nous n'entendons qu'une fois le même son , quoique nous ayons deux oreilles aussi sensibles l'une que l'autre : 2^{ment} , par quelle raison , parmitant de différens tons , il y en

a qui se font mieux entendre que d'autres à certaines gens qui ont l'ouïe dure: 3^{ment}, comment les bruits ou les sons d'une certaine espece, ou d'une certaine force, nous remuent les entrailles, nous font du plaisir ou de la peine.

L'unité de sensation, quoique produite par deux impressions distinctes, vient sans doute de ce que le son attaque des parties parfaitement pareilles, & qui ont un point de réunion commun dans le cerveau; & il est à présumer qu'on n'entendrait point de l'une des deux oreilles le son qui frapperoit d'un côté la 4^e. fibre de la lame spirale, par exemple, & de l'autre la 6^e. de la membrane du même nom. Ce n'est point le seul exemple qu'il y ait dans la nature, de deux organes semblables qui ne représentent qu'une fois leur objet, quoiqu'ils agissent également. Ordinairement nous ne voyons point double, quoiqu'il soit constant que l'image se peint également dans les deux yeux, & c'est par une raison assez semblable à celle que je viens d'exposer, & que je détaillerai en parlant de la vision.

L'efficacité de certains sons préfé-

nablement à d'autres qui sont même quelquefois plus forts, pourroit être attribuée à quelque vice de la lame spirale qui ne l'occuperoit pas toute entière. Si, par exemple, les deux extrémités de cette partie étoient devenues moins sensibles que le milieu, par quelque accident que ce pût être, la personne qui auroit cette maladie n'entendrait facilement que les tons mitoyens entre les plus graves & les plus aigus; & dans la quantité de monde qu'elle verroit, il se trouveroit infailliblement quelqu'un dont le ton de la voix se porteroit à cette partie saine, & qui se feroit entendre sans parler plus haut que de coutume.

Enfin les mouvemens que nous ressentons au-dedans de nous-mêmes, lorsque nous entendons des sons ou des bruits d'une certaine espece, s'expliquent encore avec facilité, (si l'on ne cherche que la cause générale,) par différentes impressions qui se font sur le genre nerveux, qui s'étend à toutes les parties de notre corps. Car les nerfs sont comme des cordes élastiques différemment tendues, plus grosses & plus longues les unes que

XI.
LEÇON.

les autres. Or parmi toutes ces espèces de trémoussemens que les corps sonores peuvent imprimer à l'air qui nous touche de toutes parts ; il est presque impossible qu'il n'y en ait quelque-une dont les fibres nerveuses de certaines parties ne soient susceptibles. Lorsque l'impression est douce & modérée, nous la ressentons avec plaisir ; mais quand elle est trop forte, qu'elle tend à détruire ou à déranger l'économie des parties, l'ame qui veille à la conservation du corps qu'elle anime, la désapprouve, s'inquiète ; & c'est ce qu'on nomme *déplaisir* ou *douleur*.

Voilà en gros comment les sons, selon leur espèce, excitent nos passions : certains airs inspirent la mollesse & l'amour de la volupté ; d'autres la hardiesse & le courage ; ceux-ci la tristesse, ceux-là la gayeté, &c. mais s'il falloit désigner les causes prochaines, & dire déterminément pourquoi telle musique affecte de telle manière, l'entreprise, je crois, seroit téméraire ; il faudroit connoître plus à fond ce que nous sommes, & la liaison qu'il y a entre nos différentes facultés.

L'histoire de la Tarentule , si elle est vraie , (a) est un exemple fort singulier des effets de la musique sur le corps humain : la piquûre de cet insecte , qui est une grosse espece d'araignée assez commune en Italie , envenime , dit-on , le sang , & cause des accidens très-fâcheux , qui vont quelquefois jusqu'à la mort. Quand on s'apperçoit que quelqu'un a cette maladie , on essaye en sa présence différens airs , & différens instrumens , jusqu'à ce qu'on ait trouvé celui qui convient pour la guérison ; on s'en apperçoit à certains gestes & à certains mouvemens cadencés par lesquels le malade s'agite : on dit alors qu'il danse , peut-être aussi improprement que les Anciens disoient qu'on meurt en riant quand on a mangé de la ciguë , à cause de quelques grimaces qu'ils voyoient faire en expirant , à ces sortes d'empoisonnés. Quoi qu'il en soit , ces agitations & ces sauts excitent ordinaire-

XI.
LEÇON.

(a) Depuis la première édition de ce volume j'ai eu occasion de voir M. Serrao , savant Médecin de Naples , qui m'a inspiré beaucoup de défiance sur tout ce que l'on raconte de la Tarentule. Voyez son Ouvrage *della Tarantola*.

 XI.
 Leçon.

rement une transpiration salutaire , qu'on a soin de réitérer de temps en temps par le même moyen , jusqu'à ce que les symptômes cessant , annoncent que tout le venin est dissipé.

Ce n'est pas seulement dans cette maladie que la musique peut avoir de bons effets ; on a vu des gens attaqués de fièvres chaudes , être touchés d'un air de violon , se lever , sauter , suer de fatigue , & être guéris*.

* Hist. de
 l'Acad. des
 Sc. 1703.
 page 22.

Enfin on attribue aussi au bruit du tonnerre nombre d'effets merveilleux , & dont plusieurs semblent avoir de la réalité ; mais est-ce le tremoussement seul que ce météore excite dans l'air qui en est la cause ? ou bien doit-on s'en prendre aux exhalaisons qui regnent très-communément dans les tems d'orage ? c'est ce qu'il n'est pas facile de décider.

Des Vents.

Le vent n'est autre chose qu'un air agité , une portion de l'atmosphère qui se meut comme un courant avec une certaine vitesse & avec une direction déterminée.

Ce météore, eu égard à sa direction, prend différens noms selon les différens points de l'horizon d'où il vient. On appelle vent de Nord, de Sud, d'Est ou d'Ouest, celui qui souffle de l'un de ces quatre points cardinaux. Vent de Nord-Est, de Sud-Ouest, &c. celui qui tient le milieu entre le Nord & l'Est, entre le Sud & l'Ouest, &c. vent de Nord-Nord-Est, de Sud-Sud-Ouest, &c. celui qui tient une fois plus du Nord que de l'Est, une fois plus du Sud que de l'Ouest, &c. Communément cette division de vents va jusqu'à trente-deux. Voyez la Fig. 24. elle pourroit aller plus loin, s'il étoit possible d'observer toutes leurs variations.

On peut distinguer principalement trois sortes de vents : les uns qu'on appelle *généraux* ou *constans*, parce qu'ils soufflent sans cesse dans une certaine partie de l'atmosphère; tels sont ceux qu'on nomme *allisés*, & qui régnent continuellement entre les deux tropiques, & à quelque distance aux environs : les autres, qui sont *périodiques*, qui commencent & finissent toujours dans certains temps de l'année;

492 LEÇONS DE PHYSIQUE

XI.
LEÇON.

ou à certaines heures du jour, comme les *mouffons* qui sont Sud-Est, depuis Octobre jusqu'en Mai, & Nord-Ouest depuis Mai jusqu'en Octobre entre la côte de Zanguebar & l'Isle de Madagascar ; ou bien le *vent de terre* & le *vent de mer* qui s'élèvent toujours, celui-ci le matin & l'autre le soir. D'autres enfin qui sont *variables*, tant pour leur direction, que pour leur vitesse & pour leur durée.

L'histoire des vents est assez passablement connue, par les observations de plusieurs Physiciens qui ont voyagé, ou qui se sont appliqués dans leur pays pendant nombre d'années à la connoissance de ce météore. M. Muschenbroek en a fait une dissertation

* *Essais de*
Phys. tome 2.
p. 878.
Voyage de
Dampier, t.
4.

fort curieuse *, où il a fait entrer non-seulement ce qu'il a observé lui-même, mais encore tout ce qu'il a pu recueillir des écrits de MM. Halley, Derham, &c. son ouvrage se trouve par-tout, j'y renvoye le lecteur. Mais il s'en faut bien que nous soyons autant instruits touchant les causes ; j'entends les plus éloignées, celles qui occasionnent les premiers mouvemens dans l'atmosphère ; car on sait

en général que les vents viennent immédiatement d'un défaut d'équilibre dans l'air ; parce que toutes les fois que certaines portions de l'atmosphère deviennent plus chargées , plus denses , plus élevées ou plus pressées que les autres , étant alors plus pesantes , elles doivent s'échapper , s'écouler , par où il y a moins de résistance , & pousser devant elles les autres parties qui sont plus foibles , à-peu-près comme l'eau d'un canal, soulevée dans un endroit par une pierre qu'on y jette, se meut par ondes d'un bout à l'autre ; mais qui est-ce qui a jeté la pierre , quand nous voyons l'atmosphère s'agiter ? Voilà ce qu'on ne fait que fort imparfaitement. *

XI.
LEÇON.

Les Physiciens qui ont raisonné sur cette matière , conviennent tous que les vents peuvent être occasionnés par plusieurs causes différentes : le froid & le chaud qui ne régneront que dans une portion de l'atmosphère y changent la densité de l'air , & par conséquent son volume , soit en plus , soit en moins ; & alors les parties voisines sont poussées plus loin , ou bien elles se rapprochent davan-

*Voyez les
Oeuvres de
Mariotte, p.
340.

 XI.
 LEÇON.

tage. Si la cause qui raréfie l'air est réglée & continuelle, on conçoit bien que cette régularité influe sur le vent qu'elle produit; ainsi c'est avec vraisemblance qu'on attribue les vents qui régissent de l'Est à l'Ouest dans la Zone torride, au mouvement journalier de la terre: car cette portion de l'atmosphère qui est renfermée entre les deux tropiques, présentant successivement toutes ses parties au soleil, souffre par la chaleur de cet astre des raréfactions qui changent continuellement, & avec régularité, l'équilibre de l'air; & comme le mouvement apparent du soleil s'étend en six mois de l'un à l'autre tropique, ces vents généraux doivent souffrir quelques variations périodiques, & relatives aux différens aspects du soleil, comme on l'observe effectivement. Des exhalaisons qui s'amassent & qui fermentent ensemble dans la moyenne région de l'air, peuvent encore occasionner des mouvemens dans l'atmosphère; c'est la pensée de M. Homberg & de quelques autres savans; & si les vents peuvent naître

de cette cause, comme il est probable, on ne doit point être surpris qu'ils soufflent par secousses & par bouffées, puisque les fermentations auxquelles on les attribue, ne peuvent être que des explosions subites & intermittantes.

Ces fermentations arrivent très-fréquemment dans les grottes souterraines, par le mélange des matieres grasses, sulfureuses & salines qui s'y trouvent; aussi plusieurs Auteurs ont-ils attribué les vents accidentels à ces sortes d'éruptions vaporeuses. Connor rapporte * qu'étant allé visiter les mines de sel de Cracowie, il avoit appris des Ouvriers & du maître même, que des recoins & des sinuosités de la miniere, il s'élève quelquefois une si grande tempête, qu'elle renverse ceux qui travaillent, & emporte leurs cabannes: Gilbert, Gassendi, Scheucher, &c. font mention d'une grande quantité de cavernes de cette espece, d'où il sort quelquefois des vents impétueux, qui prenant leur naissance sous terre, se répandent & continuent quelque temps dans l'atmosphère.

XI.

LEÇON

* Dissert.
Medico-phys.
Art. III. P.
33.

 XI.
LEÇON.

On cite encore l'abaissement des nuages, leurs jonctions, & les grosses pluies, comme autant de causes qui font naître, ou qui augmentent le vent; & en effet une nuée est souvent prête à fondre par un temps calme, lorsqu'il s'élève tout-à-coup un vent très-impétueux; la nuée presse l'air entr'elle & la terre, & l'oblige à s'écouler promptement.

Enfin, s'il est permis de hasarder des conjectures après ces probabilités, ne pourroit-on pas encore attribuer l'origine du vent à la grande quantité d'air qui se dégage des mixtes, en certains lieux & en certaines saisons? car nous avons fait voir à la fin de la Leçon précédente, que cet air, lorsqu'il est dégagé, tient beaucoup plus de place dans l'atmosphère, qu'il n'en occupoit dans les matières dont il faisoit partie. Or en automne, par exemple, s'il fait un temps humide & chaud qui procure une prompte & abondante putréfaction des plantes & des feuilles qui sont tombées des arbres, l'atmosphère doit s'enfler au-dessus des endroits où ces effets arrivent; elle doit re-

fluer

fluer sur les parties voisines ; celles-ci sur d'autres , & peut-être assez sensiblement , pour faire ce qu'on nomme du vent.

On pourroit pousser cette idée plus loin , en la prenant par le côté opposé ; s'il étoit vrai que la décomposition des mixtes pût rendre assez promptement une quantité d'air capable d'interrompre l'équilibre de l'atmosphère , on pourroit penser aussi qu'au printemps & dans les endroits où la nature travaille le plus à toutes ses productions , il doit s'absorber beaucoup d'air , & qu'il peut se trouver telles circonstances , où l'équilibre de l'atmosphère en pourroit être altéré. Mais ne nous livrons point avec trop de confiance à une imagination ; qui n'est rien moins que fondée en preuves solides.

Plusieurs Physiciens ont essayé de mesurer la vitesse des vents , en lui donnant à emporter des petites plumes & d'autres corps légers ; & en examinant combien il leur faisoit faire de chemin dans un temps déterminé. Mais quoique ces sortes d'expériences paroissent très-simples & d'une

 XI.
 Leçon.

extrême facilité ; ceux qui les ont faites, sont si peu d'accord entr'eux sur les résultats, qu'on n'en peut rien conclure de certain. M. Mariotte conclut la vitesse du vent le plus impétueux de 32 pieds par seconde, & M. Derham la trouve de 66 pieds d'Angleterre en pareil temps, c'est-à-dire, environ une fois plus grande; d'où peut venir cette différence ? c'est que ces deux Savans n'avoient point de règle pour juger précisément, quel est le vent le plus impétueux ; & apparemment le premier a pris pour le plus fort de tous, un vent qui pouvoit l'être une fois plus.

Les girouettes ordinaires, comme on fait, enseignent la direction du vent : mais elles ne l'enseignent qu'à ceux qui peuvent porter la vue au haut des édifices où elles sont placées, & qui se sont orientés, c'est-à-dire, qui connoissent les points principaux de l'horison du lieu. Pour rendre l'usage de cet instrument plus commode, au lieu de faire tourner la girouette sur sa tige, on l'y attache de manière qu'elle la fasse tourner avec elle ; & à l'autre bout de cette tige,

qui répond, si l'on veut, dans un appartement, on pratique un pignon qui mène une roue dentée, & cette roue une aiguille qui marque les vents sur un cadran. *Voyez les Récréations Mathématiques d'Ozanam. Tom. 2. pag. 45. Edit. 1694.*

XI.
LEÇON.

La force du vent, comme celle des autres corps, dépend de sa vitesse & de sa masse, c'est-à-dire, de la quantité d'air qui se meut ; ainsi le même vent fait d'autant plus d'effort que l'obstacle sur lequel il agit, lui présente directement plus de surface ; c'est pour cette raison qu'on déploie plus ou moins les voiles d'un vaisseau, qu'on habille plus ou moins les ailes d'un moulin à vent, & que les arbres sont moins sujets l'hyver que l'été, à être rompus par la violence des vents, parce que dans la première de ces deux saisons, n'étant point garnis de feuilles, ils leur donnent moins de prise.

On peut connoître la force relative des vents par le moyen d'un petit moulin, dont l'arbre est garni d'une fusée conique, sur laquelle on enveloppe une corde qui tient un poids

suspendu; car en exposant cette machine à l'air libre, & dans une direction convenable, le petit moulin tourne d'abord, & s'arrête ensuite, quand le poids qui tire sur la fusée, lui fait équilibre; or comme les rayons de cette fusée sont connus, ou faciles à connoître, on peut aisément comparer les forces qui ont fait équilibre aux vents en différens temps.

Parmi toutes les machines propres à mesurer les vents, & que l'on nomme pour cette raison *Anémomètres*, je n'ai rien vû de plus ingénieux & de plus complet que celle de M. le Comte d'Ons-en-bray, qui est décrite fort au long dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1734. Non-seulement elle marque la vitesse & la direction du vent; mais elle en tient compte pour l'observateur absent, & l'on voit après 24 heures, quels vents ont régné, & quelles ont été pendant cet espace de temps la durée & la vitesse de chacun.

La nature qui ne fait rien d'inutile, fait mettre les vents à profit: ce sont eux qui transportent les nuages pour arroser & fertiliser les différentes par-

ties de la terre ; ce sont eux qui les dissipent pour faire succéder le calme à l'orage ; c'est par ces mouvemens & par ces agitations que l'air se renouvelle & se purifie , & que le chaud & le froid se transmettent d'un pays à l'autre. Il arrive aussi quelquefois que l'on perd au change : car si le vent vient d'un lieu mal sain , il en apporte les mauvaises qualités , & sert de véhicule à la contagion ; mais ce sont des cas particuliers & assez rares qui ne l'emportent point sur une infinité d'autres avantages que nous tirons du vent.

On est surpris de voir naître certaines plantes au sommet d'une tour , sur le tronc d'un arbre , &c. où l'on n'a pas lieu de croire que personne ait pris la peine de les semer ; c'est l'ouvrage du vent qui élève la terre en poussière , & ensuite les semences , que l'eau du ciel fait germer. C'est par la même cause que le gramin & toutes les herbes des champs se multiplient & croissent dans une quantité d'endroits , où l'on voudroit souvent qu'elles ne vinssent point.

L'art , imitant la nature , a trouvé

XI.
LEÇON.

dans les vents de puissans moteurs ; qui nous procurent de grandes commodités , & qui étendent prodigieusement notre commerce : combien la navigation ne seroit-elle pas bornée , si les vaisseaux n'alloient qu'à force de rames , comme les galeres ? Les voyages de long cours seroient impraticables par leur lenteur , & par les frais d'équipages : au lieu qu'à l'aide des vents , & des voiles qui en reçoivent l'impulsion , un petit nombre de matelots au fait de la manœuvre , conduit avec beaucoup de diligence , une petite armée de soldats , ou un magasin énorme de marchandises , d'un bord à l'autre de l'Océan.

Quels secours ne tirons-nous pas des moulins à vent , pour moudre le grain , extraire l'huile des semences , fouler les draps , scier les planches , broyer les couleurs , ou autres matieres , &c. combien d'hommes ou de chevaux ne faudroit-il pas employer , pour faire toute la farine que le vent prépare à Montmartre , ou ailleurs aux environs de Paris ? Tous ces travaux s'operent à peu de frais , par le moyen de quatre aîles qui font l'office de leviers ,

& qui présentent leur plan d'une manière oblique à la direction du vent : la puissance qui agit continuellement sur ces quatre plans inclinés, les oblige de reculer sans cesse ; ce qu'ils ne peuvent faire qu'en tournant , & en faisant tourner l'arbre auquel ils sont fixés.

C'est par une mécanique assez semblable que les enfans trouvent le moyen d'enlever ces especes de chafis couverts de papier, qu'ils appellent *cerf-volans*; car la corde avec laquelle ils les retiennent, est toujours attachée de façon que ce plan se présente obliquement à la direction du vent , & alors l'impulsion de l'air tend toujours à le faire monter , en décrivant l'arc d'un cercle qui a pour rayon la ficelle que tient en sa main celui qui gouverne le cerf-volant. Mais comme il faut que l'axe *AB* soit toujours incliné au vent *CD* , d'une certaine quantité , au-dessous & au-delà de laquelle l'impulsion n'auroit plus l'effet qu'on en attend, on a soin de faire filer la corde; & par ce moyen le cerf-volant se trouvant à l'extrémité d'un arc semblable , mais d'un plus grand cer-

504 LEÇONS DE PHYSIQUE.

XI.
LEÇON.

cle, son axe *ab* est toujours également incliné au vent *cd* ; & le degré d'élevation est plus grand. *Voyez la Fig. 25.*

Le secours du vent est si commode, & ses avantages sont si bien connus de tout le monde, que quand il n'en fait pas, ou que nous ne sommes pas à portée d'en profiter, nous prenons la peine de nous en procurer artificiellement : on agite l'air avec un éventail ; ou autrement, pour se donner du frais ; le forgeron se sert d'un soufflet pour animer son feu ; & le boulanger nettoye son bled, en le faisant passer devant une espèce de roue garnie de quatre volans qu'il fait tourner pour jeter l'air dessus, & emporter la poussière ; ce crible qui vient originairement d'Allemagne, a été perfectionné & connu à Paris & aux environs, par les soins de M. d'Heckbourg, ancien Officier d'Artillerie ; je fais par moi-même, & par le grand débit que je lui ai vu faire de cette machine, combien elle est utile à ceux qui ont beaucoup de grains à nettoyer & à conserver.

Fin du troisième Volume.

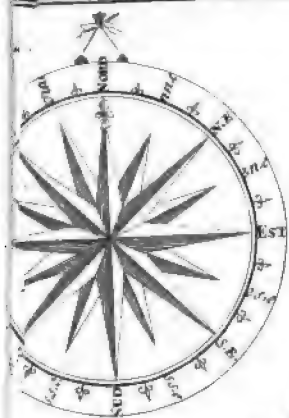


Fig. 20.

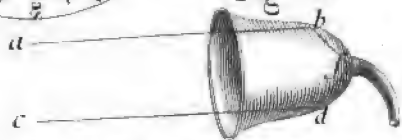
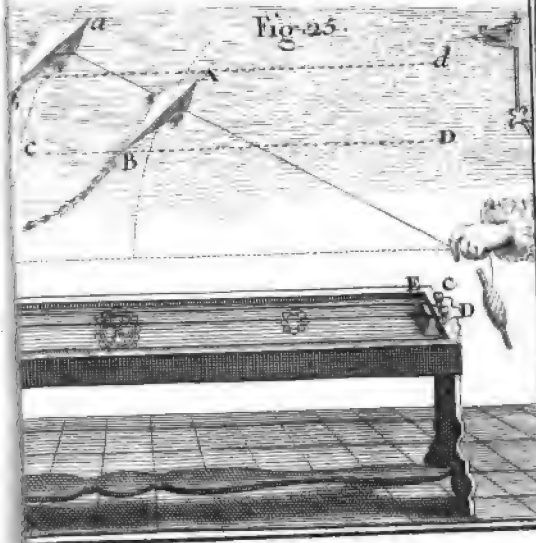
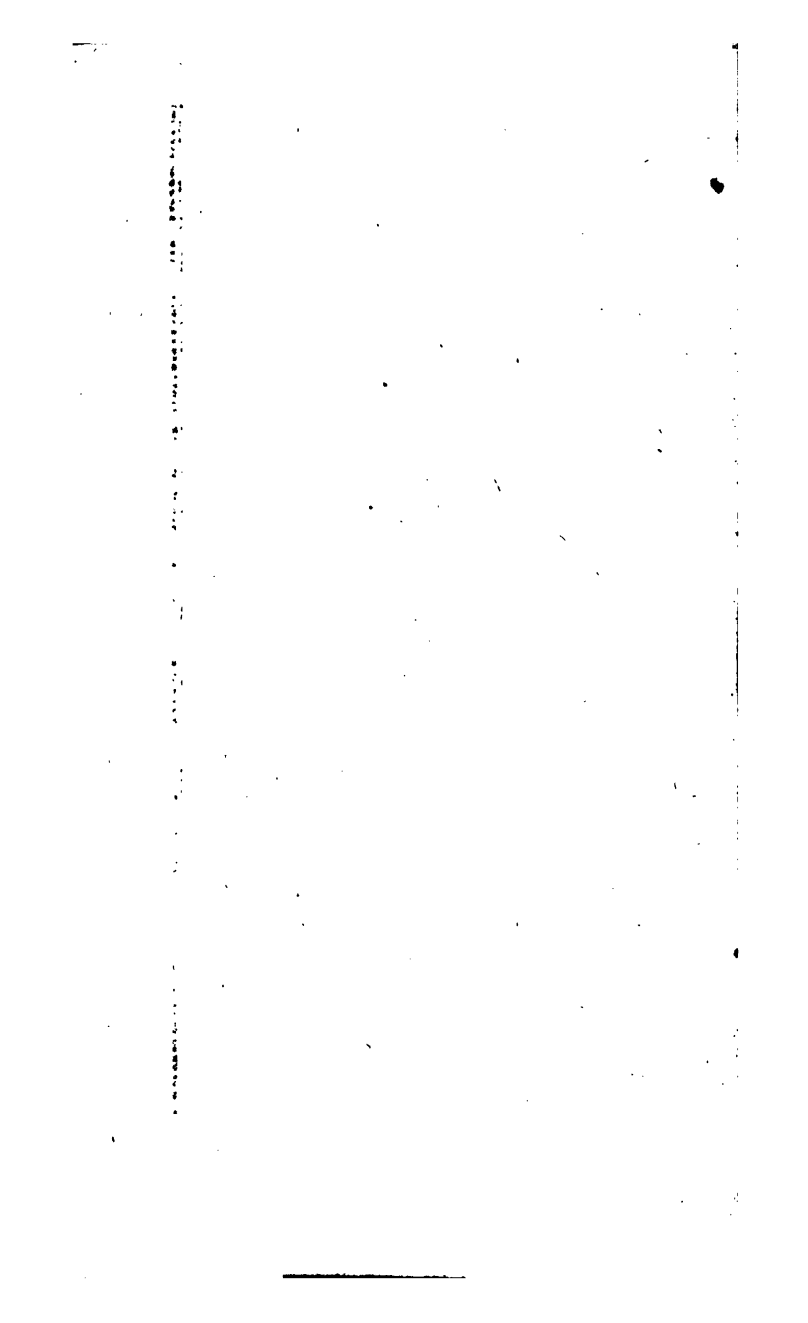


Fig. 25.







TABLE

DES MATIERES

Contenues dans le troisième Volume.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

PRELIMINAIRE dans lequel on établit certaines notions nécessaires pour l'intelligence des Matieres contenues dans cette Leçon. pag. 1.

PREMIERE SECTION. Du Levier. 16.

I. EXPERIENCE, par laquelle on prouve 1°. qu'un poids agissant comme puissance ou comme résistance, par un levier du premier genre placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il est plus éloigné du point d'appui ; 2°. que deux masses égales opposées l'une à l'autre sur un semblable levier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles sont à égales distances du point d'appui ; 3°. que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales, quand leurs distances au point d'appui communes, sont réciproquement comme les masses. 20.

II. EXP. qui prouve les mêmes propositions
Tom. III, Vu

- avec des leviers du deuxième & du troisième genre. 12
- COROLLAIRE dans lequel on justifie une proposition d'Archimedes. 25
- APPLICATIONS de ces principes à plusieurs sortes de leviers, employés tant par la nature que par l'art, & connus sous différents noms. 26
- III. Exp. pour prouver que l'effort d'une puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsque sa direction est perpendiculaire au bras du levier par lequel elle agit. 35
- IV. Exp. qui fait voir que deux puissances opposées par un même levier gardent entr'elles constamment le même rapport, si leurs directions, de perpendiculaires qu'elles étoient, deviennent également obliques de part & d'autre aux bras du levier, par lesquels elles agissent. 37
- V. Exp. par laquelle on voit que l'effet d'une puissance diminue d'autant plus que sa direction devient plus inclinée au bras du levier, & qui apprend quelle est la loi de cette diminution. 39
- APPLICA. de cette Théorie à l'usage des manivelles & autres leviers qu'on emploie pour mouvoir les machines. 43
- VI. Exp. qui prouve. 1°. que le point d'appui d'un levier est chargé de la somme des deux forces absolues, quand leurs directions sont parallèles entr'elles; 2°. que la résistance du point d'appui en pareil cas, se fait dans une direction parallèle à celle de la puissance & de la résistance. 50
- VII. EXPERIENCE, pour prouver que quand les directions des deux forces opposées sont

DES MATIÈRES. 507

inclinées l'une à l'autre , le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort : qu'il en porte d'autant moins qu'elles sont plus inclinées au levier ; & que la résistance tend au point de concours de ces deux directions. 51

VIII. Exp. par laquelle on fait voir de combien est chargé le point d'appui , & quelle est la direction de son effort ou de la résistance, lorsque les puissances opposées sont en équilibre, en agissant par des bras de levier inégaux. 55

IX. Exp. qui confirme cette Théorie. 56

APPLIC. de ces principes à plusieurs cas, où l'on fait voir que le point d'appui se trouve trop foible, soit parce qu'il n'est pas proportionné aux puissances dont il doit supporter les efforts, soit parce que la résistance se fait dans une direction désavantageuse. 59

Des machines qui sont composées de leviers, ou qui agissent comme leviers. 65

De la Balance commune ou de la Romaine. 66

Des Poulies. 79

X. Exp. pour faire voir qu'une poulie peut être employée comme un levier du premier genre, dont les bras sont égaux, & sur lequel deux puissances égales demeurent toujours en équilibre, quelques directions qu'elles prennent. 80

XI. Exp. par laquelle on démontre que les puissances appliquées à une poulie, agissent d'autant plus fortement que leur distance à l'axe est plus grande. 83

XII. Exp. qui prouve que l'axe d'une poulie est chargé de la somme totale de la puissance &

de la résistance, & que l'effort qu'il soutient ; se fait dans une direction parallele aux leurs, ou qui tend à leur point de concours.	84
APPLIC. avantageuses des poulies dans des cas où des leviers simples seroient ou insuffisans ou moins commodes.	86
XIII. EXP. pour faire voir que les poulies peuvent être employées aussi comme leviers du 2 ^e ou du 3 ^e . genre, & qu'elles en ont toutes les propriétés.	190
APPLIC. aux poulies moufflées, avantage que cette machine procure à la force motrice, & jusqu'à quel point on y peut compter.	94
Des roues dentées & autres.	97
Du Treuil & du Cabestan.	104
SECONDE SECTION. Du Plan incliné.	108
I. EXP. par laquelle on prouve que la puissance qui agit par un plan incliné, est dans la position la plus avantageuse, quand elle agit parallèlement au plan.	109
APPLIC. de ce principe à plusieurs phénomènes familiers.	114
Des Machines qui sont composées de plans inclinés.	119
Du Coin.	<i>ibid.</i>
II. EXP. qui fait connoître 1 ^o . que le coin peut servir à vaincre de grandes résistances ; 2 ^o . quel est le rapport des puissances qui agissent l'une contre l'autre par le moyen de cette Machine.	124
APPLIC. de la Théorie du Coin aux instrumens de différentes especes, qui sont tranchans, & aux diverses manieres dont on les fait agir.	127
De la Vis & de ses propriétés. Description & explication de la vis d'Archimedes, & de la vis sans fin.	130
TROISIEME SECT. Des Cordes.	132

DES MATIERES. 509

I. Exp. qui fait voir que la résistance causée par la roideur des cordes, augmente en raison directe des poids ou des forces qui les tiennent tendues. 144

II. Exp. pour prouver que la roideur des cordes augmente comme leur diametre. 146

III. Exp. par laquelle on voit que les cordes deviennent plus roides, à mesure qu'elles enveloppent de plus petits cylindres; mais que cette résistance ne suit pas la proportion des diametres de ces cylindres. 148

APPLIC. de ces principes à l'usage des cordes dans les Treuils, dans les Cabestans, dans les Poulies, dans les Archets des Tourneurs, &c. 149

IV. Exp. qui prouve que le tortillement diminue la force des cordes, au lieu de l'augmenter. 159

APPLIC. de cette connoissance à la fabrique & à l'usage des cables & autres cordages qui servent sur les vaisseaux ou dans les bâtimens. 161

V. Exp. pour faire voir que l'humidité raccourcit & fait détordre un peu les cordes qui sont faites de fils ou de cordons tortillés ensemble. 164

VI. Exp. qui fait connoître l'effort prodigieux d'un fluide qui s'insinue par des passages étroits, & qui confirme l'explication de l'expérience précédente. 166

APPLIC. de ces deux dernières Expériences aux Hygrometres. 167

X. LEÇON.

*Sur la Nature & les Propriétés de
l'Air. 175.*

PREMIERE SECT. De l'air considéré en lui-même, indépendamment de la grandeur & de la figure de la masse. 176

- I. Exp. par laquelle on prouve que l'air a une pesanteur absolue; attentions qu'il faut avoir, & que n'ont point eue la plupart de ceux qui ont fait cette expérience; réponse à quelques difficultés qu'on pourroit faire contre cette preuve; explications de plusieurs phénomènes tirées de cette première expérience. 187
- II. Exp. qui prouve que la densité de l'air augmente comme les poids qui le compriment; restriction qu'il faut mettre à cette loi. 208
- III. Exp. qui fait voir que le ressort de l'air comprimé égale en force la puissance qui l'a mis en cet état. 214
- IV. Exp. des deux hémisphères de Magdebourg. 216
- V. Exp. qui démontre que l'adhérence des deux hémisphères de l'expérience précédente vient uniquement de la pression de l'air extérieur. 218
- APPLIC. des principes établis par les expériences précédentes; comment se fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique; pourquoi le récipient s'attache à la platine; moyen de connoître les différens degrés de raréfaction de l'air dans le récipient, &c. de juger du rapport de la capacité de ce vaisseau à celle de la pompe; explications de plusieurs effets qui dépendent du ressort de l'air. 221
- VI. Exp. Jets d'eau formés par le ressort de l'air. 231
- VII. Exp. de l'Arquebuse à vent. 234
- APPLIC. du ressort de l'air comprimé à la fontaine de Heron, & aux pommes qui fournissent continuellement de l'eau, quoiqu'elles n'ayent qu'un piston. Diverses tentatives sur la compression de l'air; nouvelle machine

DES MATIERES. 511

- pour faire des épreuves de ce genre. 238
- VIII. Exp. pour faire connoître en quelle proportion la chaleur augmente le volume de l'air. 248
- APPLIC. de cette cause à divers effets que l'on fait voir qui en dépendent ; fontaine artificielle construite sur ce principe. 252
- IX. Exp. qui fait connoître en quelle proportion la chaleur augmente le ressort de l'air. 258
- APPLIC. de ce principe à la construction d'un Thermometre comparable ; comparaison de l'air d'une chambre échauffée par un poêle à celui qui s'échauffe par le feu de l'âtre. 263
- X. Exp. des animaux dans le vuide. 266
- XI. Exp. des poissons dans le vuide. 267
- APPLIC. de la nécessité de l'air pour conserver la vie animale ; plus pressante cependant pour certaines especes que pour d'autres ; exemples singuliers de personnes qui ont vécu un tems considérable sans respirer ; explication de ce phénomène : l'air n'est bon à respirer que quand il n'est ni trop rare, ni trop condensé, nouveau & pur ; observations qui le prouvent. Machines pour renouveler l'air ; moyens pour le purifier, &c. 271
- XII. Exp. de la flamme dans le vuide. 287
- XIII. Exp. pour prouver, que sans air, le feu le plus actif ne produit point de lumière. *ibid.*
- XIV. Exp. par laquelle on voit que la poudre à canon ne s'embrase qu'à peine & sans explosion dans le vuide. Précautions à prendre en faisant ces sortes d'épreuves. 289
- APPLIC. de ce principe à divers effets naturels, qui se rencontrent journellement. 293
- XV. Exp. pour prouver qu'il y a beaucoup d'air dans les corps solides. 299

- XVI. Exp.** par laquelle on voit qu'il y en a aussi beaucoup dans les liquides. 301
- XVII. Exp.** pour comparer le volume d'air qui sort de l'eau, à la quantité de l'eau même d'où on l'a fait sortir. 310
- XVIII. Exp.** pour connoître le volume d'air qui sort d'une certaine quantité de sucre qui se dissout. 313
- XIX. Exp.** par laquelle on fait voir que le volume d'air, qu'on tire d'une matière, égale souvent 200 ou 300 fois celui de la matière d'où il sort. On essaye d'expliquer ce phénomène singulier. 314
- APPLIC.** de cette cause pour rendre raison des coliques de vents, des rapports d'estomac, &c. 326
- XX. Exp.** pour connoître en combien de temps l'air rentre dans les liqueurs, d'où on l'a fait sortir. 332
- APPLIC.** de cette connoissance à quelques essais sur les moyens d'introduire des odeurs dans les liquides. 335

X I. L E Ç O N.

Suite des propriétés de l'Air.

- SECONDE SECT.** De l'air considéré comme atmosphère terrestre. 337
- ARTICLE I.** De l'atmosphère considérée comme un fluide en repos. 339
- I. Exp.** par laquelle on voit que le mercure baisse dans le baromètre à mesure que la hauteur de l'atmosphère diminue; & dans quelle proportion se fait cet abaissement du mercure. 342
- APPLIC.** de cette expérience pour connoître le poids de l'atmosphère, son étendue, sa figure,

DES MATIÈRES. 513

- la hauteur des montagnes; examen historique
& critique de ce qui a été fait à cet égard. 350
- II. Exp.** pour prouver que l'air de l'atmosphère
est chargé de parties aqueuses. 364
- III. Exp.** par laquelle on apperçoit visiblement
les corps étrangers qui flottent dans l'air de
l'atmosphère. 366
- APPLIC.** aux météores aqueux dont on décrit
l'histoire. 369
- ART. II.** De l'atmosphère considérée comme un
fluide en mouvement. 396
- Du Son en général.** 397
- Des Corps sonores.** 398
- I. Exp.** qui fait connoître que le son consiste
primitivement dans les vibrations du corps
sonore. 399
- II. Exp.** qui prouve la même chose. 400
- APPLIC.** de ce principe au choix des matières
dont on fait les corps sonores, à leur prépa-
ration, au choc ou au frottement des fluides
qui produit des sons; explications de quel-
ques faits singuliers qui ont rapport à cette
théorie. 405
- Du milieu qui transmet les sons.** 412
- III. Exp.** Du son éprouvé dans le vuide. 413
- IV. Exp.** Du son éprouvé dans l'eau. 414
- APPL.** de ces deux dernières expériences pour
expliquer quelques effets singuliers; remar-
que sur la transmission des sons dans l'eau
par rapport à l'ouïe des poissons; histoire des
expériences qui ont été faites en dernier lieu
sur la propagation des sons dans l'atmosphère,
avec les principaux résultats. 419
- V. Exp.** qui fait connoître dans quelle propor-
tion, & selon quelle loi l'intensité du son
augmente ou diminue, eu égard à la distance
du corps sonore, à la densité ou au ressort

314 TABLE DES MATIERES.

de l'air qui transmet le son.	427
APPLIC. des connoissances que l'on tire de cette expérience, à certains affoiblissmens des sons; nouvelle explication des effets du portevois; & de quelques phénomènes qui dépendent de la même cause; histoire & explication de quelques échos singuliers.	433 & s.
De l'Ouïe & de son organe.	441
Description de l'Oreille & de ses fonctions.	
Cornes acoustiques.	447
Des sons comparés.	455
VI. Exp. Du Sonometre, par laquelle on fait connoître le rapport qu'il y a entre les longueurs, grosseurs, tensions, & densités relatives des Cordes, & les différens tons qu'elles produisent.	465
APPL. des principes établis par cette expérience aux instrumens de Musique de différentes especes; examen des principaux systèmes sur l'organe de la Voix, & sur ses fonctions. On explique, suivant le sentiment de M. de Mairan, la propagation distincte des différens tons simultanés.	470
Des Vents.	494

Fin de la Table des Matières du Tome III.

